Nicht f. d. Austausch

Untersuchung abnorm hoher Temperaturen in Norddeutschland

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Erwin Balcke

aus Hannover

Tag der Promotion: 1. 9. 1937
Tag der mündlichen Prüfung: 2. 11. 1936

1937

Druck von Hammerich & Lesser in Altona

N 46

Veröffentlichungen des Marineobservatoriums.

a) bis 1933:

1. Beobachtungen aus dem Magnetischen Observatorium der Kaiserlichen Marine in Wilhelmshaven während der Polarexpedition 1882 und 1883, ausgeführt unter der Leitung von Prof. Dr. C. Börgen, m. e. Anhang: Über die Ablenkungskonstante usw. von M. Eschenhagen. (II. Bd. Internationale Polarforschung 1882/83. Die Beobachtungsergebnisse der Deutschen Stationen.) Separat-Abdr. aus dem Deutschen Polarwerk. 1886. VII, 116 S., 2 Taf. Berlin, A. Asher & Co.
2.* Meteorologische und magnetische Beobachtungen, angestellt auf dem Kaiserlichen Observatorium zu Wilhelmshaven, jährlich 13 Blatt, herausgegeben von C. Börgen. 1879—1888.
3. Beobachtungen aus dem Magnetischen Observatorium der Kaiserlichen Marine in Wilhelmshaven, ausgeführt im Auftrage des Hydrographischen Amts der Admiralität unter Leitung von C. Börgen. Herausgegeben vom Hydrographischen Amt des Reichsmarineamts. II. Teil. Stündliche Variationsbeobachtungen während der Jahre 1884 und 1885. Berlin 1890. Mittler & Sohn, 52 S., 1 Taf. (Zugleich Fortsetzung von 1.)
4. Beobachtungen aus dem Magnetischen Observatorium der Kaiserlichen Marine in Wilhelmshaven. Ausgeführt im Auftrage des Reichsmarineamts unter der Leitung von C. Börgen. Herausgegeben von dem Kaiserlichen Observatorium zu Wilhelmshaven. III. Teil. Stündliche Variationsbeobachtungen während der Jahre 1886, 1887, 1888. Berlin 1893. 59 S.
5. Erdmagnetische Beobachtungen zu Wilhelmshaven am Kaiserlichen Marineobservatorium und in der Nachbarschaft desselben zur Untersuchung des Lokaleinflusses. Von M. Eschenhagen. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte, XVI. Jahrgang 1893, Nr. 6. Herausgegeben von der Direktion der Seewarte. Hamburg 1893. 12 S., 1 Taf.
6. Beobachtungen der Meteorologischen Station des Observatoriums der Kaiserlichen Marine in Wilhelmshaven. Ausgeführt im Auftrage des Reichsmarineamts unter der Leitung von C. Börgen. Herausgegeben von dem Kaiserlichen Observatorium zu Wilhelmshaven. I. Teil. Stündliche Aufzeichnungen des Luftdruckes, der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit während der Jahre 1889—1893. Berlin 1895. VI, 56 S.
7. Beobachtungen aus dem Magnetischen Observatorium der Kaiserlichen Marine in Wilhelmshaven. Ausgeführt im Auftrage des Reichsmarineamts unter der Leitung von C. Börgen. Herausgegeben von dem Kaiserlichen Observatorium zu Wilhelmshaven. IV. Teil. Stündliche Variationsbeobachtungen der Deklination während der Jahre 1889—1895. Berlin 1896. 53 S.
8. Beobachtung aus dem Magnetischen Observatorium der Kaiserlichen Marine in Wilhelmshaven. Ausgeführt im Auftrage des Reichsmarineamts unter der Leitung von C. Börgen. Herausgegeben von dem Kaiserlichen Observatorium zu Wilhelmshaven. V. Teil. Stündliche Variationsbeobachtungen der Horizontalintensität während der Jahre 1889—1895. — Nebst den Bestimmungen der Inklination während derselben Zeit. — Untersuchungen über den Einfluß des magnetischen Moments und der Entfernung auf die Poldistanz von Magneten von C. Börgen. Berlin 1899. XVI, 57, 35* S.
9.* Veröffentlichungen des Kaiserlichen Observatoriums in Wilhelmshaven. Im Auftrage des Reichsmarineamts herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums Capelle, Korv.-Kapt. a. D. Übersicht über die Tätigkeit des Erdmagnetismus, Blatt 1—5. (Bestehend aus mehreren Seiten Text und 1 Tafel), halbjährlich, von Prof. Dr. Bidlingmaier. Berlin 1910/12.
10. Veröffentlichungen des Kaiserlichen Observatoriums in Wilhelmshaven. Im Auftrage des Reichsmarineamts herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums Capelle, Korv.-Kapt. a. D. Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen im Jahre 1910. Neue Folge, Heft 1, von Prof. Bidlingmaier, Berlin 1911, V, 42 S., 8 Abbildungen und 4 Tafeln. (Darin angekündigt ein VI. Teil, Anschluß der Jahre 1896/1909.)
11. Veröffentlichungen des Kaiserlichen Observatoriums in Wilhelmshaven. Im Auftrage des Reichsmarineamts herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums Capelle, Korv.-Kapt. a. D. Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen im Jahre 1911. Neue Folge, Heft 2, von Prof. Bidlingmaier. Mit besonderen Untersuchungen über die erdmagnetische Aktivität. Berlin 1913. 35 S., 2 Abbildungen und 2 Tafeln.
12. Veröffentlichungen des Kaiserlichen Observatoriums in Wilhelmshaven. Im Auftrage des Reichsmarineamts herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums Capelle, Korv.-Kapt. a. D. Über den Einfluß des Windes auf die Gezeiten, unter besonderer Berücksichtigung Wilhelmshavens und der Deutschen Bucht, von Dr. Leverkinck. Berlin 1915. 50 S., 19 Abb.
13. Veröffentlichungen des Marineobservatoriums in Wilhelmshaven. Im Auftrage der Marineleitung herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums. Hilfstafeln zur Funkortung für die nordeuropäischen Gewässer. Berechnet von H. Gadow. Berlin 1926. 23 S., 1 Abb.
14. Veröffentlichungen des Marineobservatoriums in Wilhelmshaven. Herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums. Karten der Strömungen in der Nähe von Helgoland. Bearbeitet von Dr. K. Hessen. Wilhelmshaven 1929. Selbstverlag der Marinewerft in Wilhelmshaven. 2 Seiten Text, 2 Seiten Tabellen, 15 Tafeln.
15. Veröffentlichungen des Marineobservatoriums in Wilhelmshaven. Herausgegeben vom Vorstande des Observatoriums. Kimmtiefenmessungen an Bord von Schiffen der Reichsmarine. Bearbeitet von K. Hessen, A. Huber, H. Thorade. Berlin 1930. 32 S., 16 Abb., 3 Tafeln.
16. Veröffentlichungen des Marineobservatoriums in Wilhelmshaven. Astronomische Ortsbestimmung und Kimmtiefenmessung auf See, von Dr. Fritz Conrad, Konteradmiral a. D. Berlin 1933. 111 S., 40 Abb. im Text und 9 Tafeln.

Die mit * versehenen Veröffentlichungen bestehen aus einer fortlaufenden Reihe. Mit Ausnahme der unter 1, 2, 5 und 14 aufgeführten Veröffentlichungen sind alle im Kommissionsverlag E. S. Mittler & Sohn, Berlin, erschienen.

b) 1934—37: „Neue Folge“ (E. S. Mittler & Sohn, Berlin).

Heft 1 Dr.-Ing. K. Lüders: Umrechnung von Gezeitenstromgeschwindigkeiten auf Mittelwerte. Berlin 1934. 59 S. mit 1 Abb., 29 Tabellen im Text und 10 Tafeln.

Heft 2 H. Wagemann: Über Energieumsatz und Bildung der Sturmdepressionen. Die Wanderungsgeschwindigkeit einer Depression. Berlin 1935. 39 S.

Heft 3 H. Frank: Reisebericht über die Islandfahrt des Vermessungsschiffs „Meteor“ vom 1. 10. bis 2. 11. 1934.
R. Höhn: Meteorologischer Erfahrungsbericht über die Island-Grönlandfahrt des Vermessungsschiffs „Meteor“ im Februar/März 1935. 45 S., zahlr. Abb. u. Tab.

Heft 4 O. Moese und P. Meier: Meteorologische Beobachtungen und Reiseberichte der Islandfahrten des Vermessungsschiffs „Meteor“ im Rahmen des zweiten internationalen Polarjahres 1932/33 (unter Benutzung des Meteorologischen Tagebuches und des Berichtes über die meteorologische Tätigkeit von O. Moese, zusammengestellt von P. Meier). 40 S., 7 Anlagen.

Heft 5 Dr. Ferdinand Becker: Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen im Jahre 1931. 82 S., 10 Tab.

Heft 6 Bertold Schröder: Untersuchung über die Bildung einiger Mittelmeerdepressionen. 62 S. mit 40 Abb. und 12 Tabellen im Text.

c) Gezeitentafeln für das Jahr 1938 (E. S. Mittler & Sohn, Berlin).

Band I: Europäische Gewässer (4 RM)

Band II: Außereuropäische Gewässer (5 RM)

Untersuchung abnorm hoher Temperaturen in Norddeutschland

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Erwin Balcke

aus Hannover

Tag der Promotion: 1. 9. 1937
Tag der mündlichen Prüfung: 2. 11. 1936

1937

Druck von Hammerich & Lesser in Altona

Referenten: 1. Prof. Dr. H. von Ficker
2. Prof. Dr. A. Defant

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Diese Dissertation erscheint zugleich als Heft Nr. 4 des 57. Bandes der Schriftreihe „Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte und des Marineobservatoriums".

Inhaltsverzeichnis.

Untersuchung abnorm hoher Temperaturen in Norddeutschland.

Seite

Einleitung 5

1. **Bestimmung abnorm hoher Temperaturen** 7

2. **Die abnorm hohen Maxima in Potsdam 1920—1934** 10

3. **Der winterliche Advektionstypus** 11
   a) Mittelwerte der Elemente 11
   b) Die synoptische Betrachtung 11
   c) Bedingungen für einen winterlichen Warmlufteinbruch 18
   d) Die aerologischen Verhältnisse 19

4. **Der sommerliche Advektionstypus** 20
   a) Allgemeines über Entstehung hoher Sommertemperaturen . . . 20
   b) Mittelwerte der Elemente 21
   c) Die synoptische Betrachtung 21
   d) Die aerologischen Verhältnisse 26

5. **Der antizyklonale Typus (dynamische Erwärmung)** 27
   a) Mittelwerte der Elemente 27
   b) Die synoptische Betrachtung 28
   c) Die aerologischen Verhältnisse 30

6. **Der Temperaturanstieg am Boden** 31
   a) Strahlung 31
   b) Föhn aus der freien Atmosphäre 33

Schluß 38

Einleitung.

In der vorliegenden Arbeit sollen abnorm hohe Temperaturen, die in Potsdam in den Jahren 1920 bis 1934 aufgetreten sind, synoptisch und aerologisch untersucht werden. Es kam zunächst darauf an, ein Maß für abnorm hohe Temperaturen zu finden. Darum soll in dem 1. Kapitel gezeigt werden, wie man auf Grund von langjährigen Mittelwerten eine Kurve zeichnen kann, die für jeden Tag angibt, was als abnorm hohe Temperatur zu bezeichnen ist. Es war nun die Aufgabe, von den Fällen der Reihe Potsdam 1920 bis 1934 die Wetterlagen durchzusehen und mit Hilfe der Aufstiege von Lindenberg besondere Merkmale und Ursachen aufzudecken. Da könnte es zunächst einleuchtend erscheinen, die Fälle nach den drei von vornherein bekannten Erwärmungsursachen einzuteilen, nämlich nach Advektion, Strahlung und dynamischer Erwärmung. Wir werden aber sehen, daß Strahlung erst eine sekundäre Ursache ist, und daß das Primäre bei einer hohen Bodentemperatur (wir brauchen später den Ausdruck „Bedingung") nur Advektion und dynamische Erwärmung ist. Danach sind die Fälle eingeteilt. Weshalb bei den Advektionsfällen eine Unterteilung in Winter und Sommer gemacht wird, soll noch gezeigt werden. Schließlich sollen natürlich auch die sekundären Ursachen behandelt werden, wo neben Strahlung noch Föhn aus der freien Atmosphäre hinzugezogen werden soll.

1. Bestimmung abnorm hoher Temperaturen.

Für abnorm hohe Temperaturen sind wohl in erster Linie die Maxima repräsentativ, nicht aber die Tagesmittel. Es kann ja eine starke positive Anomalie im Tagesmittel verschwinden, wenn am selben Tage eine negative auftrat. Darum erstrecken sich die folgenden Untersuchungen nur auf Maximaltemperaturen.

Wenn man nun Fälle mit abnorm hohen Maxima heraussuchen will, so kann man nicht ohne weiteres aufs Geratewohl Maxima nehmen, die als „hoch" erscheinen, sondern man muß eine gewisse Jahreskurve kennen, die eine Funktion darstellt zwischen den Tagen des Jahres und der Temperatur, oberhalb welcher es abnorm warm wird. Es besteht zwar die Möglichkeit, den jahreszeitlichen Gang einer solchen Kurve auf Grund von Mittelwerten festzulegen. Allein für die Höhenlage bleibt, wie wir nachher sehen werden, ein Spielraum. Eine solche Kurve, die die Kurve für abnorm hohe Temperaturen heißen soll, und die vielleicht auch allgemein klimatologisch von Interesse sein dürfte, soll im Folgenden ermittelt werden.

Ausgegangen wurde von der nunmehr vierzigjährigen Reihe Potsdam 1893 bis 1932. Für eine Untersuchung von Extremverhältnissen ist die Reihe zwar kurz; aber sie ist gegenüber der Hellmannschen Berliner Reihe (s. Lit.-Verz. 2) vollkommen homogen und lückenlos und umfaßt auch die Nachkriegsjahre, die nachher für die aerologischen und synoptischen Untersuchungen allein in Frage kommen. Eine Reduktion der einen Reihe auf die andere ist wegen der nur 15jährigen Parallelität sehr unsicher.

In der Klimatologie sind bisher folgende Arten von Temperaturdaten, die sich auf Maxima beziehen, üblich (s. Lit.-Verz. 3, S. 43).

1. Das singuläre mittlere Maximum eines bestimmten Monats, das ist das arithmetische Mittel der in einem Monat beobachteten Maxima.

2. Das mittlere Maximum ein und desselben Monats der gesamten Reihe.

3. Das singuläre absolute Maximum eines Monats, das ist die in einem einzigen Monat beobachtete Höchsttemperatur.

4. Das mittlere absolute Maximum von ein und demselben Monat der gesamten Reihe.

5. Das absolute Maximum von ein und demselben Monat der ganzen Reihe.

Wenn man in einer Reihe z. B. warme Dezember heraussuchen will, so geht man von einer konstanten Anomalie vom mittleren Monatsmittel aus. Um aber ein Maß für abnorm hohe Temperaturen zu bekommen, kann man leider nicht von einer konstanten Abweichung von irgendeinem Mittel ausgehen, beispielsweise Abweichung vom mittleren Maximum. Denn wie wir später sehen werden, bedeutet z. B. eine Abweichung von 10° vom mittleren Maximum nach oben für November eine ungewöhnliche Anomalie, während man sie im März ganz unbeachtet lassen würde. Das heißt, man muß einen gewissen jahreszeitlichen Gang der Anomalien berücksichtigen, der offenbar vorhanden ist. Man muß also gewissermaßen beachten, was für Anomalien in einem Monat im Mittel auftreten. Dafür scheinen am ersten die mittleren absoluten Maxima in Frage zu kommen. Von der Reihe Potsdam 1893 bis 1932 lauten sie:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
8.5	10.7	17.7	22.4	28.6	30.0	31.8	30.6	27.2	20.9	13.3	9.6
12.4	18.0	23.5	29.0	34.0	35.0	36.8	37.2	34.9	25.8	21.5	14.3

Die unterste Zahlenreihe zeigt die absoluten Maxima.

Aber alle diese Werte sind doch gar nicht repräsentativ für die größten Anomalien, worauf es hier aber ankommt. Denn das absolute Maximum ist nicht immer gerade die größte Anomalie. Ein Beispiel: Das absolute Maximum Mai 1913 tritt am 31. mit 30.6° auf; am 1. Mai herrschen aber 28.5°. Man sieht sofort, daß der 1. Mai eine größere Anomalie hat, da er doch normalerweise kälter ist als der 31. Wir müssen nun aber die Anomalie, die wir bisher ganz allgemein im Sinne von Abweichungen überhaupt gebrauchten, genau definieren. Und da scheint mir am besten die Abweichung vom mittleren Maximum zu sein, die wir schon einmal benutzten. Die mittleren Maxima für die 12 Monate der Potsdamer Reihe sind:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2.1	3.5	8.1	13.2	19.1	21.7	23.5	22.5	18.8	12.9	6.3	3.0

Am besten wäre es, Pentadenmittel der Maxima zu berechnen; leider steht, da die vorliegende Arbeit hauptsächlich synoptisch werden soll, nicht die Zeit dafür zur Verfügung, sie zu berechnen. Man kann sich aber helfen, indem man die Werte als Flächenwerte auffaßt, also eine Kurve so durchlegt, daß sie gleiche Flächen ober- und unterhalb ausschneidet. Dann kommt diese Kurve der Kurve der wahren mittleren Maxima sehr nahe. Vielleicht ist sogar eine geglättete Kurve in diesem Falle angebrachter. Jedenfalls kommt sogar noch die Schafkälte Mitte Juni zur Darstellung.

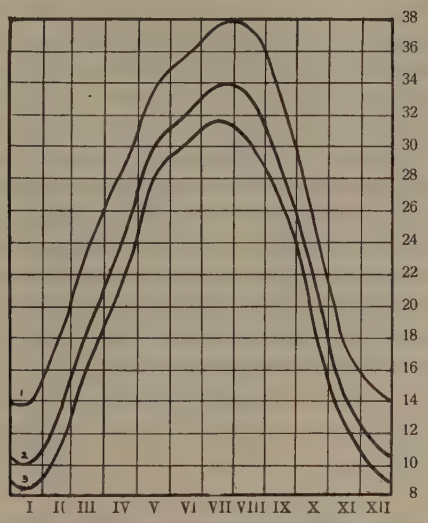
Um nun die mittleren maximalen Anomalien für die Monate zu bekommen, wurde von jedem Monat der Tag mit größter Abweichung vom mittleren Maximum herausgesucht, seine Temperatur, seine Anomalie und sein Datum über die ganze Reihe hin arithmetisch gemittelt. Dann bekommt man für jeden Monat einen Temperaturwert, der nun nicht mehr das mittlere absolute Maximum darstellt, sondern die Temperatur, die der Tag mit größter Anomalie bringt und die „hohes Maximum eines Monats" genannt werden soll. Die hohen Maxima, die mittleren maximalen Anomalien und die Daten lauten:

	Mittleres hohes Maximum	Tag	mittlere Anomalie	größte Anomalie
I	8.5	15	6.5	10.3
II	10.7	17	6.9	15.0
III	17.5	21	8.8	14.0
IV	21.9	16	8.5	15.1
V	28.3	16	9.1	13.7
VI	29.9	14	8.3	13.6
VII	31.7	15	8.4	13.3
VIII	30.3	18	7.9	15.0
IX	26.8	15	8.2	14.7
X	20.4	15	7.2	10.7
XI	12.9	15	6.3	13.2
XII	9.5	20	6.9	11.7

Nun sieht man ein, daß wir im Mai ganz andere Anomalien zu erwarten haben als im November, und daß wir mit einer konstanten Abweichung vom mittleren Maximum nichts anfangen können.

Was bedeutet nun die Kurve, die man bekommt, wenn man die hohen Maxima an ihrem Datum einträgt und die Punkte verbindet? (Figur 1.) Es ist doch klar, daß der Punkt 24.7° am 1. Mai bedeutet, daß für einen Monat, der vom 15. April bis 15. Mai dauert, der Tag der größten Anomalie im Mittel eine Temperatur von 24.7° bringt, genau so wie doch die Mitteilung für den 16. Mai 28.3° und den 16. April 21.9° ergab. Umgekehrt kann man auch sagen, daß eine Temperatur von 24.7° am 1. Mai zwar schon hoch ist; aber sie entspricht doch der normalen maximalen Anomalie in einem Monat.

Wir haben nun eine Kurve bekommen, die nicht mehr eine konstante Abweichung vom mittleren Maximum bedeutet, sondern die die mittlere maximale Anomalie, die tatsächlich auftritt, ausdrückt, also den mittleren jahreszeitlichen Gang der maximalen Anomalien, was ja auf Seite 7 unten verlangt wurde.



Figur 1. Die „absoluten Maxima" (1), die „abnorm hohen Maxima" (2) und die „hohen Maxima" (3) Potsdam.

Man könnte nun einfach Temperaturen, die über dieser Kurve liegen, als abnorm hoch bezeichnen, das heißt einen Spielraum würde man vielleicht lassen, etwa 1 bis 2°; von da ab würde man sagen „abnorm warm". Wir werden aber gleich sehen, daß wir noch etwas berücksichtigen müssen, nämlich die maximalen überhaupt beobachteten Anomalien, und haben auch hier Bedenken gegen einen konstanten additiven Wert.

Zunächst sollen uns aber erst einmal die Werte der mittleren Anomalien selbst interessieren (Seite 8). Auffällig sind die 3 Stufen: Frühjahr mit 8.7°, Sommer mit 8.2° und Winter mit 6.7°. Wie schon angedeutet, sind für unsere weiteren Betrachtungen die absoluten Beträge der Anomalien interessant. Allerdings begeben wir uns hier auf ein unsicheres Gebiet; denn nun handelt es sich um Einzelwerte und nicht mehr um Mittel. Legt man noch einige Werte der Hellmannreihe zugrunde und interpoliert man ein wenig, so kann man eine Kurve der maximalen Anomalien zeichnen, in der man einen jahreszeitlichen Gang sieht. Frühjahr und Spätsommer haben die größten Werte; im Frühsommer liegt ein sekundäres Minimum. Das Minimum liegt im Winter. Allerdings sind die Monate März und Oktober interpoliert. Daraus sehen wir, daß dieser additive Betrag, den man zu der Kurve der hohen Maxima hinzufügen muß, nicht konstant sein darf, wenn im November die absoluten Anomalien um 3° oder mehr hinter denen im März zurückbleiben. Wie bringen wir das nun an? Am besten addiert man erst einmal die absoluten Anomalien zum mittleren Maximum oder, was dasselbe ist, wir tragen alle Temperaturen ein, die die größte Anomalie in jedem Monat der ganzen Reihe darstellten. Legen wir eine umhüllende Kurve um diese Punkte, so enthält diese Kurve alle Temperaturen, die überhaupt je vorgekommen sind. Die Kurve nennen wir die Kurve der absoluten Maxima. Darüber hinaus kann man auch sagen, daß sie die theoretisch möglichen Temperaturen kennzeichnet. Denn wenn am 15. April 28.3°, am 6. Mai 32° auftreten können so kann bei gleichen Bedingungen am 31. April die Temperatur auftreten, die die Interpolation angibt, nämlich 31° (Figur 2). Darum kann man gewisse hypothetische absolute Maxima angeben; sie lauten für die 12 Monate:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
15	20	26	31	35	37	38	38	36	30	22	16

Praktisch hat diese Kurve wenig Bedeutung, denn es kann ja jederzeit ein noch größerer Exzeß auftreten, der sie überschreitet. Jedenfalls umfaßt sie alle seit 230 Jahren beobachteten Exzesse und versetzt uns jetzt in die Lage, endlich die Kurve der abnormen Maxima zu konstruieren.

Jetzt haben wir 2 Kurven, die beide repräsentativ für abnorm hohe Temperaturen sind. Wir teilen einfach die Fläche zwischen beiden Kurven in irgendeinem Verhältnis auf, und zwar im Verhältnis 1:2 (2 Teile nach den absoluten Maxima, 1 Teil nach den hohen Maxima hin). Dieses Verhältnis ist natürlich willkürlich gewählt. Die so entstandene Kurve heißt die Kurve für abnorm hohe Maxima. Sie ist nun nicht durch einen konstanten additiven Betrag zur Kurve der hohen Maxima entstanden, sondern sie ist eine Funktion der mittleren und absoluten Verhältnisse. Wie wichtig der Einfluß dieser letzten Kurve, der absoluten Maxima, ist, zeigen die Verhältnisse im Februar und Dezember, wo wir annähernd gleiche Werte von hohen Maxima haben, wo sich aber der additive Betrag im Februar auf über 2.5°, im Dezember aber nur auf 1.6° beläuft. Deshalb müssen Mitte Februar die Temperaturen schon über 13° liegen, um abnorm hoch zu sein, während Mitte Dezember nur 11° aufzutreten brauchen. Das wird man auch verstehen, wenn man bedenkt, daß im Februar die Sonne vereinzelt schon gewaltige Exzesse herbeiführen kann (11. Februar 1899 18°), was im Dezember nicht möglich ist. Das alles enthält die Kurve. Die Schafkälte kommt auch gut zum Ausdruck, der Altweibersommer infolge der monatlichen Mittelung nicht. Die Werte für abnorm hohe Maxima für die Monatsmitten lauten:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
10	13	19	24	30	32	34	33	29	22	14	11

2. Die abnorm hohen Maxima in Potsdam 1920 bis 1934.

In dem Zeitraum 1920 bis 1934 wurden insgesamt 85 Tage mit Maxima gefunden, die über der Kurve der abnormen Maxima liegen. Man kann nun nicht etwa alle diese Einzeltage allein betrachten, sondern muß gewisse hintereinander liegende Tage zu Fällen zusammenfassen, die dann jedesmal einen Wärmeeinbruch darstellen. Das zu umfangreiche Material und manchmal auch die zu lückenhaften Wetterkarten ließen es nicht zu, alle diese Fälle zu behandeln; es sind aber etwa 80%, und zwar die markantesten, zur genauen Untersuchung herangezogen. Für jeden Monat liegen ca. 4 Fälle vor. Insgesamt sind 49 Fälle untersucht. Näher betrachtet sind immer die beiden Vortage und der Nachtag; Haupttag ist der Tag mit dem höchsten Maximum.

Es zeigt sich nun, daß in allen Jahren außer 1924 abnorm hohe Maxima aufgetreten sind, am meisten 1921 (11) und 1932 (10). Am häufigsten traten sie ferner im Januar auf (10), danach kommen März, Mai, Juni und August mit 9. Zuunterst kommen September und Oktober mit je 4 Tagen abnormer Maxima. Da sich die Untersuchung der hohen Temperaturen auf das ganze Jahr hin erstreckt, ist es einleuchtend, daß zur Entstehung derselben alle möglichen Ursachen in Frage kommen. Von vornherein wird man sagen können, daß im Winter mehr advektive Vorgänge die Ursache sind, im Sommer mehr Strahlung. In welcher Jahreszeit dynamische Erwärmungsvorgänge besonders zur Erklärung herangezogen werden müssen, wird die spätere Untersuchung zeigen. Es sollen im Folgenden daher besondere Typen von Wärmeeinbrüchen behandelt werden, deren Einzelfällen gemeinsame Entstehung zugrunde liegt, zunächst ganz unabhängig von der Jahreszeit. Es zeigt sich aber bald, daß ein und dieselben Entstehungsursachen auf gewisse Jahreszeiten beschränkt sind, so daß durch die Auslese nach gemeinsamen Ursachen gleichzeitig eine jahreszeitliche Auslese erfolgt. Manchmal ist aber infolge der zu großen Verschiedenheit in den Elementen zwischen Winter und Sommer eine jahreszeitliche Trennung möglich. Um aber auch monatlich die Verhältnisse genau zu erfassen, soll zum Schluß eine Übersicht gegeben werden, die erkennen läßt, welche Arten von Wärmeeinbrüchen in den einzelnen Monaten aufgetreten sind.

Zuerst sollen nun die Fälle behandelt werden, wo hauptsächlich advektive Vorgänge eine große Temperaturanomalie herbeiführen.

3. Der winterliche Advektionstypus.

Von den 49 Fällen ließen sich 23 finden, bei denen in erster Linie advektive Vorgänge die Ursache der hohen Temperaturen waren. Davon fallen 6 auf Januar, 3 auf Februar, 1 auf März, 3 auf April, 2 auf Mai, 1 auf Juli, 1 auf Oktober, 2 auf November und 4 auf Dezember. Da die Verhältnisse im Sommer von denen im Winter zu sehr verschieden sind und auch Strahlung schon reichlich einwirkt, sollen die Sommerfälle besonders behandelt werden. Im Sommer ist Advektion nie der einzig maßgebliche Faktor, wenn er auch ausschlaggebend sein kann. Darum sollen die in die Monate November bis März fallenden 16 Fälle, wo die Strahlung meist so gering ist, daß die hohe Temperatur tatsächlich nur advektiv bedingt ist, unter winterlichem Advektionstypus zusammengefaßt werden. Gleichzeitig zeigt sich die monatliche Auslese: Im Januar und Dezember kommt nur dieser Typus vor, während im Februar, März und November auch andere Vorgänge zu sehr hohen Temperaturen führen können.

a) Mittelwerte der Elemente.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, daß der winterliche Advektionstypus zu 75 % bei SW-Winden auftritt; den Rest füllen SE-Winde fast ganz aus. Die übrigen Richtungen fehlen beinahe ganz. Interessant ist die empfindliche Abkühlung von 4.3°, die dem Haupttag folgt.

	2. Vortag	1. Vortag	Haupttag	Nachtag
Maximum	8.0	9.8	13.1	8.8
Luftdruck	750.5	749.8	746.3	746.8
Windstärke in m/sek. . .	7.4	6.9	8.0	6.4
NE-Winde	0	0	0	3
SE-Winde	21	24	21	28
SW-Winde	74	76	76	65
NW-Winde	5	0	3	4

Der Luftdruck hat seinen tiefsten Stand am Haupttag mit 746.3 mm, einen recht tiefen Stand, wenn man bedenkt, daß in Potsdam im Mittel der Luftdruck im Winter ca. 754 mm beträgt. Daß er zum Nachtag nur ½ mm steigt, trotz des Kälteeinbruchs, stimmt mit den Ergebnissen einer Arbeit Traberts (s. Lit.-Verz. 4) überein. Hiernach fällt sogar der Druck am Nachtag einer Wärmewelle noch ein wenig. Der Druckfall vom Vortag zum Haupttag, der bei 75 % Fällen eintrat, beträgt 3.5 mm; der Wind frischt dabei um mehr als 1 m/sek. auf.

b) Die synoptische Betrachtung.

Von den 16 Fällen sind nur 12 für eine genaue Untersuchung zu gebrauchen, weil von den übrigen keine Weltkarte vorhanden ist. Für Untersuchungen von Warmlufteinbrüchen so großen Stils sind aber gerade die Vorgänge auf dem Atlantik von ausschlaggebender Bedeutung, wie wir gleich sehen werden. Zwei weitere sind noch zur Bildung von mittleren Kerndrucken usw. zu verwenden, während 2, nämlich der 30. Dezember 1920 und der 2. Januar 1921, wegen zu schlechten Materials gar nicht zu gebrauchen sind.

Bei allen Fällen handelt es sich um einen Warmlufteinbruch auf der S- bis SE-Seite eines ungewöhnlich großen und tiefen Minimums, das meist den ganzen Nordatlantik bedeckt. Daß es sich um die allertiefsten Depressionen handelt, bei denen diese Wärmeeinbrüche stattfinden, zeigen die mittleren Kerndrucke. Sie betragen:

2. Vortag: 726 1. Vortag: 727 Haupttag: 728 mm
(Mittel aus 14 Fällen, Druck der innersten Isobare).

Das bedeutet eine sehr starke Abweichung gegen mittlere Verhältnisse. Die Wetterkarten lehren uns, daß Zyklonen unter 730 mm nicht gerade häufig sind. Langjährige Mittelwerte, die die Anomalie beweisen könnten, sind in der Literatur nicht vorhanden, nur häufigste Kerndrucke in Nordamerika, die hier 754 mm betragen (s. Lit.-Verz. 5, S. 530). Im nordatlantischen Minimum beträgt der mittlere Tiefstdruck (allerdings nicht unmittelbar mit mittlerem Kerndruck zu vergleichen) im Januar 748 mm. Daß es gleichzeitig die allerumfangreichsten Zyklonen sind, sollen ihre mittleren Durchmesser beweisen, die zu rund 5000 km (± 500) gefunden wurden (Raum innerhalb der 760 mm Isobare, 12 Fälle; jeder Fall Mittel aus 3 Durchmessern). Im Mittel beträgt aber dieser Durchmesser auf dem Nordatlantik nur 3200 km. Leider sind die gemittelten Durchmesser sehr unsicher, da die 760 mm Isobare auf der Wetterkarte oft nicht geschlossen ist. Genauer sind daher die großen Achsen, die zu 6000 km gemittelt wurden. Interessant ist, daß das kleinste Tief noch einen mittleren Durchmesser von 3500 km hat, also noch über mittleren Verhältnissen liegt. Darum kann man sagen, daß winterliche Warmlufteinbrüche nur bei ungewöhnlich umfangreichen Zyklonen eintreten; das hängt offenbar damit zusammen, daß es sich dabei um sehr weithergeholte Luftmassen handelt, um Advektionen ganz großen Stils. Die größte Anomalie der Temperatur (30. Dezember 1925) trat auch bei der größten Zyklone auf. Es scheint direkt eine Korrelation zwischen Betrag der Temperaturanomalie und Größe der Zyklone zu bestehen. Die 5 kleinsten Anomalien gehören mit Ausnahme von einer zu den kleinsten Depressionen.

Die systematische Untersuchung der Wetterkarten an den beiden Vortagen und dem Haupttag ergab nun folgendes Bild:

2. Vortag. In allen 14 Fällen liegt Mitteleuropa auf der SE-Seite eines großen tiefen Zyklonensystems; die mittlere Position des Kerns ist 18° Westlänge und 60° Breite, das ist südlich Islands und westlich der Shetland-Inseln. Der Kerndruck beträgt im Mittel 726 mm und liegt in allen Fällen unter 735 mm. Bei 42 % Fällen zeigt sich eine ganz charakteristische Ausbuchtung der Isobaren nach dem Raume der Azoren hin, die bis etwa 30 bis 35° Breite reicht und in 37° Länge ihren Endpunkt hat. Also noch westlich der Azoren liegt. Dabei handelt es sich nicht etwa nur um einen Isobarenknick an einer Front, sondern um eine Art V-Depression, zum Teil sogar sekundäre Depression. Der Winkel, den die Isobaren einschließen, ist in den genannten Fällen kleiner als 100°. Bei 33 % Fällen zeigt sich eine ungewöhnliche Länge geradlinigen Isobarenverlaufs, der bis 60° Länge, also bis zur Länge von Neufundland, reicht und infolge der westsüdwestlichen Neigung bis in weit südliche Breiten reicht, nämlich bis 35° (etwa Bermuda). Der Gradient beträgt vor dem Kanaleingang 2.1 mm. Bei 50 % von 16 Fällen herrscht in Mitteldeutschland am Morgen bereits warmes SW-Wetter, bei 37 % kühles Vorderseitenwetter, bei 13 % kühles Rückseitenwetter.

1. Vortag. Die Depression ist im Mittel um 6 Längengrade auf 60 bis 61° Breite nach Osten gerückt, also um etwa 330 km in 24 Stunden. Der Gradient am Kanaleingang ist auf 2.5 mm angewachsen. Bei 75 % Fällen zeigt sich jetzt jener Ausläufer nach den Azoren hin. Das Ende des Ausläufers liegt bei gleicher Breite wie am Tage vorher, nämlich 30 bis 35° in 23° Länge, ist also um 1300 km nach Osten herumgeschwenkt und liegt jetzt östlich der Azoren. In einigen Fällen hat sich der Ausläufer zu einer solch großen Teildepression entwickelt, daß er mächtiger als die Hauptdepression geworden ist. Bei 33 % zeigt sich der lange geradlinige Isobarenverlauf quer über den Atlantik, jetzt aber nur bis 40° Länge. Es scheint also entweder ein Azorenausläufer oder geradliniger langer Isobarenverlauf ein Charakteristikum zu sein; andere Lagen kommen nicht vor. Bei 81 % Fällen herrscht in Mitteldeutschland warmes SW-Wetter, in den übrigen Fällen kühles Vorderseitenwetter.

Haupttag. Der Kern der Depression ist im Mittel um 550 km weiter nach Osten gerückt und liegt jetzt auf 2° Westlänge und 61° Breite, also genau über den Shetland-Inseln bei 728 mm Kerndruck. Der Gradient am Kanal beträgt 2.7 mm. Der Azorenausläufer ist bei 67 % Fällen entwickelt und liegt vor der spanischen Küste mit seinem Endpunkt in 35° Breite und 15° Länge, also im Raum der Kanarischen Inseln. Bei 88 % Fällen herrscht um 7 Uhr mildes SW-Wetter, bei 12 % noch kühles Vorderseitenwetter.

Die Herkunft der Luftmassen.

In allen Fällen handelt es sich also um Warmlufteinbrüche vom Mittelatlantik aus dem Raume der Azoren oder noch westlicher auf der Vorderseite der genannten Ausläufer oder längs der langen geradlinigen Isobaren, die oft bis nach Westindien verlaufen. Die Herkunft der Luftmassen ist aber genauer untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, daß die meisten Warmlufteinbrüche von den Azoren stammen. Vereinzelt kommen auch Fälle vor, bei denen die Luft aus noch westlicherer Gegend herkommt, nämlich etwa aus dem Raum von Bermuda. Eine genaue Übersicht der Herkunft zeigt die Tabelle.

Wärmewelle aus		Anzahl	Wärmewelle aus		Anzahl
SW	östlich Azoren	2	WSW	westlich Azoren	4
	Kanaren	1		östlich Bermuda	2
SWzW	Azoren	6		westlich Bermuda	1

Es liegt kein Fall vor, bei dem die Luft aus einem Raume kommt, der noch östlich der Kanarengegend liegt, etwa aus dem Mittelmeer oder Afrika. Das steht in einem gewissen Gegensatz zu einer neueren Arbeit von Dinies (s. Lit.-Verz. 6, S. 81) mit dem Ergebnis, daß winterliche advektive Erwärmungen (große Temperaturanstiege), auch bei nordsüdlichen Isobaren auftreten. Für die Herkunft der Luftmassen ist aber auch der Isobarenverlauf kennzeichnend. Darum sollen die Isobarenverläufe über Mitteleuropa angegeben werden; sie liegen bei allen 16 Fällen innerhalb der Grenzen SSW bis WNW am Haupttag morgens. Die östlichste Advektion trat am 17. November 1926 ein. Hier liegt der Ausläufer, auf dessen Vorderseite die Luftmassen einströmen, noch in 10° Westlänge vor der spanischen Westküste. Hier handelt es sich um Luftmassen aus der Kanarengegend. Sehr interessant sind aber auch die Höhenwinde in 1500 m Höhe; erst einmal erfolgte im Mittel der Fälle die Advektion mit einer Geschwindigkeit von 18 m/sek., also mit Sturmesstärke. In 2 Fällen herrschte Orkan, 35 m/sek. Die Richtungen liegen innerhalb der Grenzen S bis NW. Die Verteilung innerhalb dieses Bereiches war folgende:

	Vortag	Haupttag
S—SWzS	12	14
SW—WzS	38	50
W—NWzW	50	36

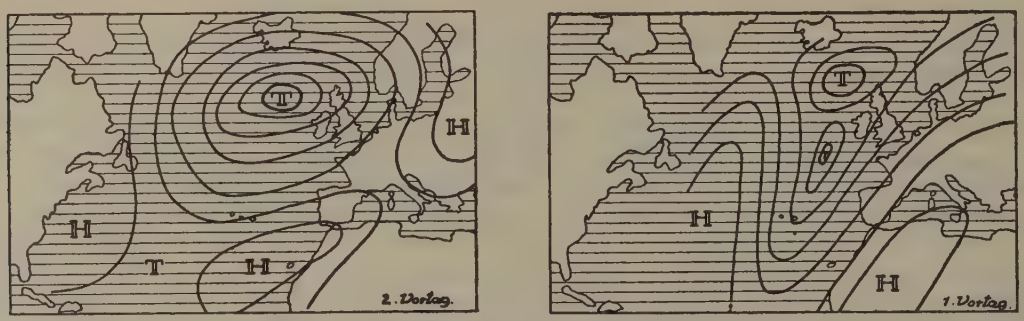
Die Isobarentypen bei den Warmlufteinbrüchen.

Wir müssen nun grundsätzlich zwischen 2 Isobarentypen unterscheiden, die zu einem Warmlufteinbruch im Winter führen. 1. Der Azoren-Ausläufertypus. 2. Typus der langen geradlinigen Isobaren, wie schon aus der genauen Betrachtung der Wetterkarten hervorging. Sämtliche Fälle lassen sich gut in diese Typen einordnen.

Typus 1: Der Azoren-Ausläufertypus.

Zum Typus 1 gehören im weitesten Sinne 11 von 12 Fällen, weil bei den 11 an mindestens einem der drei besprochenen Tage ein ganz typischer Ausläufer sich bildete; im engeren Sinne aber nur 8. Bei den drei übrigen spielt der Ausläufer eine untergeordnete Rolle. Bei diesen 8 Fällen handelt es sich um Luft aus dem Raume der Azoren und östlich davon, der es durch einen ungewöhnlich südlich ausgreifenden Ausläufer eines Zyklonensystems auf dem Atlantik und durch den damit verbundenen steilen südwest-

lichen Isobarenverlauf in der Azorengegend ermöglicht wird, nach Nordosten und somit nach Mitteleuropa abzufließen. Zwei Arten kommen hier vor: stationäre Ausläuferlagen (Typ 1b), die zu einem länger anhaltenden Warmlufteinbruch in Form mehrerer Warmluftstaffeln führen, und schnell am Vortag sich bildende und schnell nach Osten schwenkende Ausläufer (Typ 1a), die nur einen Schub warmer Luft in Form eines Warmsektors nach Nordosten bringen. (Figuren 2 und 3.) Zu 1b gehören 7. I. 1932, 18. XI. 1926 und 4. XI. 1931. Daß es sich bei allen dreien um lang anhaltende Warmlufteinbrüche und nicht nur um einen Warmsektor handelt, zeigen die Anstiege der Maxima zum Haupttag, die im Mittel der 3 Fälle vom 2. Vortag zum Haupttag nur 3.3° betragen, während das Mittel aller 16 Fälle 5.1° ist. Zum Typus 1a gehören die 5 übrigen: 12. II. 1925, 2. II. 1926, 5. XII. 1929, 29. XII. 1929 und 4. I. 1931. Hier beträgt der mittlere Anstieg 6°; der Wert liegt über dem Mittel, was ja für die schnell ziehenden Ausläufer typisch ist. Die idealen Drucklagen für Typus 1a zeigen Figuren 2 und 3; Abbildung 2 zeigt den



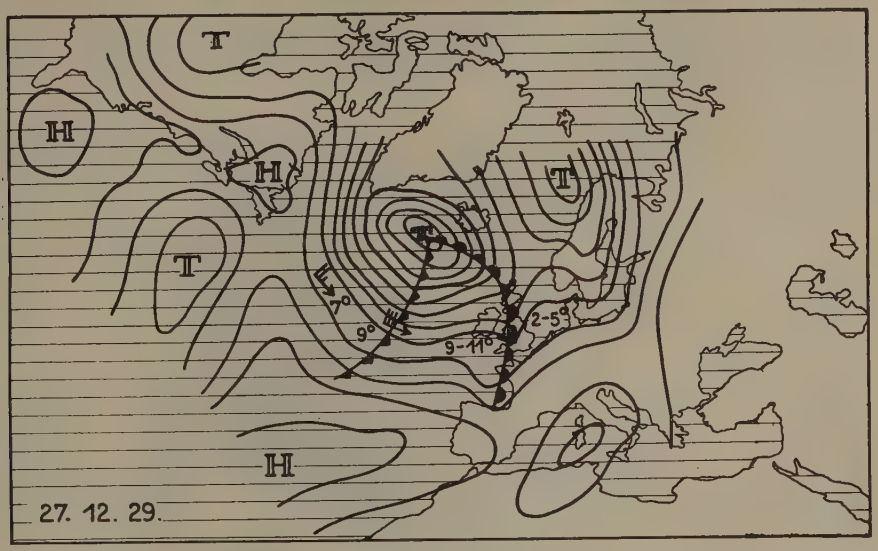
Figuren 2 und 3. Typus Ia: schnell ziehende Ausläufer.

2. Vortag der schnell ziehenden Ausläufer. Man sieht in 4 von 5 Fällen noch gar keinen Ausläufer, nur eine flache Rinne tiefen Druckes zwischen 2 Hochdruckgebieten in ca. 45° Länge, die vielleicht der Herd der am nächsten Tag so plötzlich entwickelten Ausläufer ist. Figur 3 zeigt zeigt auch gleichzeitig die Lage für stationäre Ausläufer, wie sie oft 4 bis 5 Tage anhält.

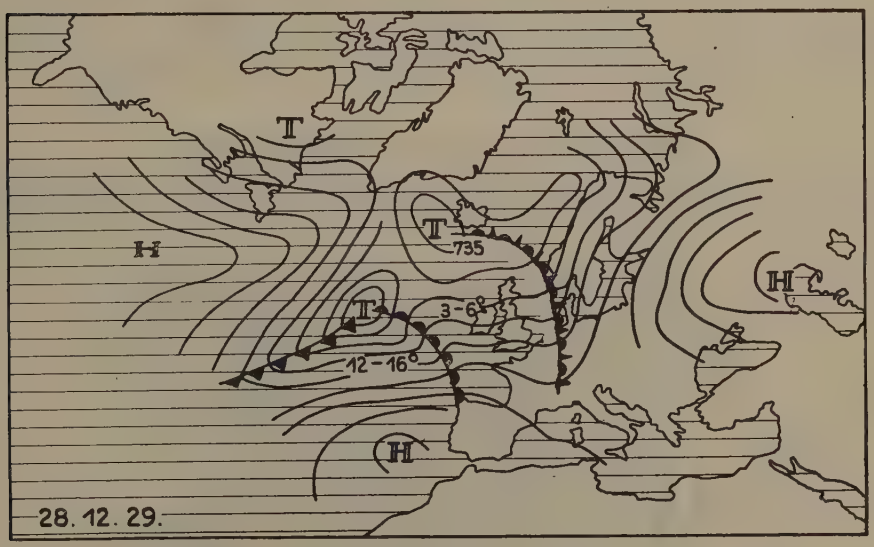
Einzelfälle.

Besser als alle Mittelwerte sind die Behandlungen von Einzelfällen, wobei ich für Typus 1a den sehr charakteristischen 29. XII. 1929 herausgreife (Figuren 4 bis 5). Am 26. XII., am 3. Vortag, liegt eine Sturmzyklone mit einem Kern unter 730 mm auf dem mittleren Atlantik. An ihrer Südseite melden Schiffe WSW-Stärke 12 bei 8 bis 12° Lufttemperatur in 50° Breite. Am 27. liegt der Kern mit 715 mm südlich Islands; an seiner Südseite melden Schiffe an den von W nach E verlaufenden Isobaren 7 bis 9° bei W-Stärke 7. Ein Warmsektor mit 10° Kerntemperatur liegt mit einer Warmfront über den Britischen Inseln. Mit diesen offenbar gealterten subtropischen Luftmassen können die am 29. in Deutschland auftretenden Temperaturen von 13 bis 14° aber nicht erklärt werden. Ein flaches Tief südlich Neufundland auf 35° Breite ist durch eine Rinne mit dem atlantischen Sturmtief verbunden. Am 28., am Vortag, hat es sich unter Vertiefung ungeheuer rasch als V-förmige sekundäre Depression an das Haupttief angeschlossen und liegt nachts noch westlich der Azoren, reicht aber bis unter 30° Breite hinab. Die Azoren haben am 27. abends 20° und SW-Wind Stärke 5. Man kann annehmen, daß sich eine echt subtropische Luftmasse als Warmsektor mit Temperaturen von mindestens 16° auf der Vorderseite dieses Tiefs am 28. morgens nach Nordosten in Bewegung setzt. Am 29., 2 Uhr, also am Morgen des Haupttages, erscheint die Warmfront an der französischen Küste mit 10 bis 14° bei SW-Stärke 10; um 7 Uhr liegt ein gutausgeprägter Warmsektor über Frankreich. In der Höhe strömen die Warmluftmassen mit 25 bis 30 m/sek. nach Ostnordosten (nach Pilot Croydon, Köln und Rochefort). Die Luftmassen können daher die 1500 km lange Strecke bis Mitteldeutschland in 15 Stunden zurückgelegt haben. Die Warmfront erreicht Potsdam

gegen 14 Uhr. Der Vorgang ist aber nicht nur durch einen Warmluftstrom auf der Vorderseite des Ausläufers charakterisiert; vielmehr hat die Warmluft das Haupttief neu belebt, den Gradienten dadurch verschärft und auch für schnellere Fortbewegung des Systems gesorgt, was wir später als Bedingung dafür



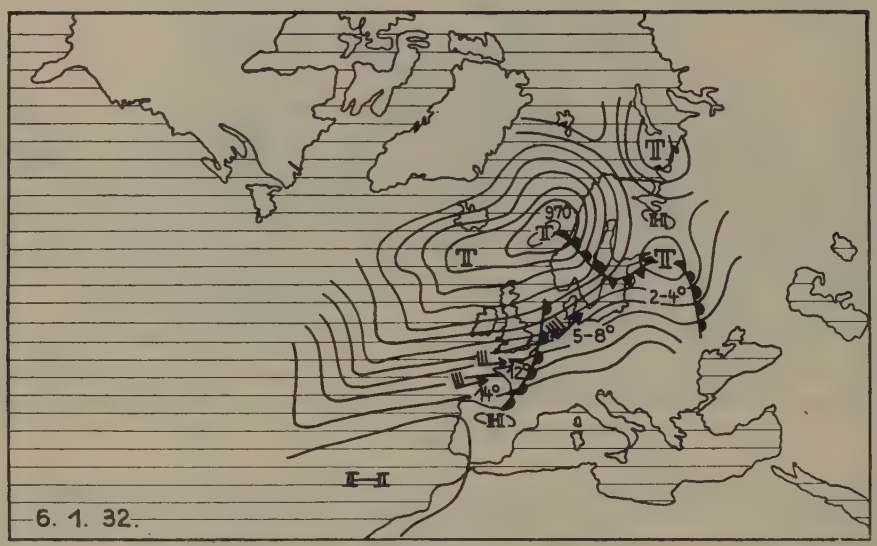
Figur 4.



Figur 5.

kennenlernen werden, daß die Warmluft auch Mitteleuropa berührt. Kennzeichnend für diesen Typus der kurzlebigen Ausläufer ist es ferner, daß es sich um eine ganz kurze Wärmewelle in Form eines Warmsektors handelt. Die Temperatur steigt von 0.8° um 4 Uhr auf 11.1° um 17 Uhr am Haupttag, um am Nachtag morgens auf 3.7° zu sinken. Ein sehr ähnlicher Fall ist der 4. I. 1931

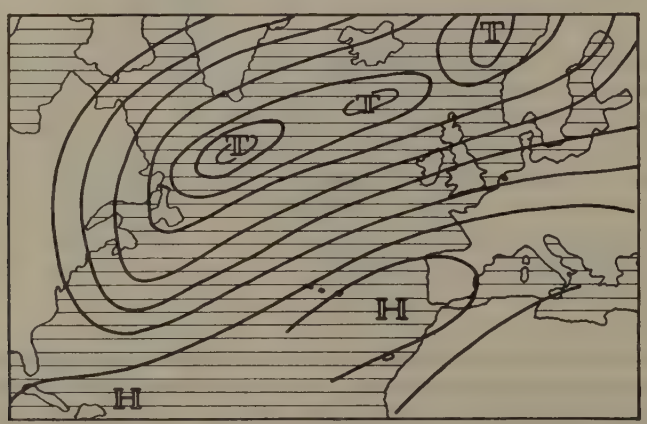
Eine genaue Besprechung eines Falles von Typus 1b, stationäre Ausläuferlagen, soll unterbleiben. Es soll nur gezeigt werden, daß es sich hier um mehrere Warmluftstaffeln handelt; so am 7. I. 1932. In Potsdam erfolgen deutlich 2 Warmlufteinbrüche, der erste am 5. frühmorgens. In diesem Fall liegt ein bis 35° Breite reichender Ausläufer stationär über den Azoren, und zwar vom 1. I. an. Westdeutschland wird auch schon am 2. I. abends von einer Warmfront erreicht. Hierfür ist es charakteristisch, daß 3 Tage hintereinander warm sind, nämlich der 5. mit 8°, der 6. mit 10° und der 7. mit 11° Maximaltemperatur. Als typische Wetterlage sei die Lage vom 6. I. 2 Uhr gegeben, die Lage am Vortag des Wärmeeinbruchs vom 7. I. 1932 (Figur 6).



Figur 6.

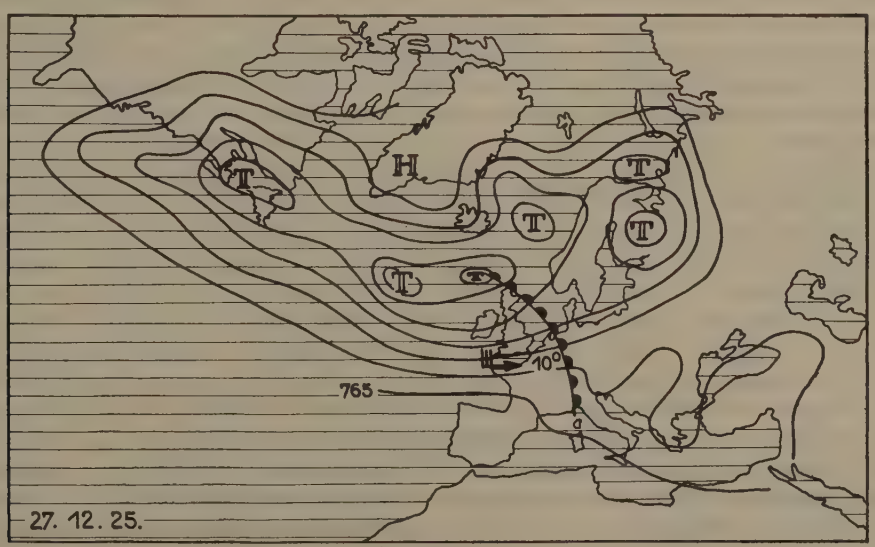
Typus 2: Typus der langen geradlinigen Isobaren.

In 4 von den 12 Fällen zeigt sich kein nennenswerter Ausläufer in der Azorengegend und kein steiler südwestlicher Isobarenverlauf. Zu diesen Fällen gehören: 4. I. 1925, 30. XII. 1925, 4. I. 1930, 19. I. 1934.

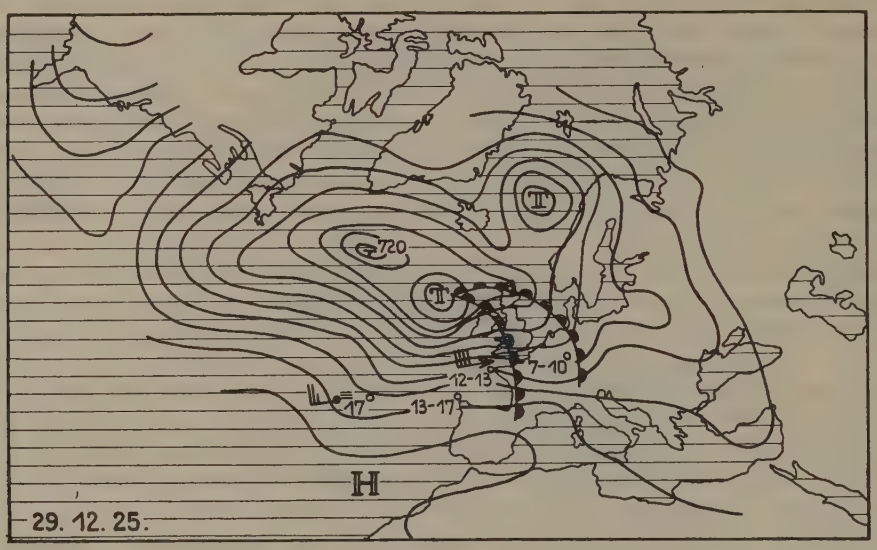


Figur 7.

Es scheinen aber bei diesen Fällen ganz ungewöhnlich lange geradlinig über den ganzen Ozean hin verlaufende Isobaren aufzutreten, die auf der anderen Seite des Ozeans bis in die westindischen Gewässer reichen. Am 3. Vortag reichen sie im Mittel bis zum 70. Längengrad, das ist noch westlich Bermuda. Wenn eine solche Lage mehrere Tage anhält, dazu noch bei einem starken Gradienten, so kann, ohne daß in Mitteleuropa die Isobaren besonders auffällige südliche Neigung besitzen, ein nicht unerheblicher Warmlufttransport auf der Südseite des Systems einsetzen. Die idealisierte Lage zeigt Figur 7. Ganz typisch ist eine tiefe Rinne mit mehreren Einzelkernen. Der Unterschied zwischen diesem Typus und dem Ausläufertypus ist zunächst nur das Isobarenbild. Ferner ist hier eine wirklich mehrere Tage hindurch anhaltende Lage erforderlich, wegen des weiteren Weges der Luftmassen. Und dann handelt es sich hier um Luft westatlantischen Ursprungs, während es bei Typus 1 Azorenluft ist. Außerdem ist es hier nicht die starke südliche Neigung der Isobaren wie beim Typus 1, sondern die große Länge, durch die die Isobaren in weit südliche Breiten geraten. Die Struktur des Warmlufteinbruchs ist die einer Staffelung, ähnlich wie bei den stationären Ausläufern (1b). Zu diesen Fällen zählt der 30. XII. 1925, der wahrscheinlich den gewaltigsten Wärmeeinbruch im Winter seit mindestens 150 Jahren darstellt und verbreitet Hochwasser infolge Schneeschmelze zur Folge hatte. An dem Tage steigen in ganz Deutschland die Temperaturen über 10°. In ganz Südwest- und Mitteldeutschland aber werden 15° überschritten, am Oberrhein steigt das Termometer auf 17° und in Mittelfrankreich (Clermont) auf 22°, so daß tatsächlich Sommertemperaturen mitten im Winter auftreten. Dieser Fall verdient daher eine genauere Betrachtung, und zwar als Vertreter des Typus 2. Lange geradlinige Isobaren treten erstmalig am 25. XII. auf; am 27. nehmen sie eine geradezu beispiellose Länge (Figuren 8 und 9) an. Sie reichen von 40° Ostlänge in Rußland bis fast nach Florida. Das Zyklonensystem hat die Form einer langen Rinne mit mehreren Kernen. Eine erste Warmfront passiert Potsdam am 27. mittags und bringt Temperaturen von 6°. Am 28. bleibt Potsdam im Bereich dieser Luftmasse. Am 29., am Vortag, reichen die geradlinigen Isobaren immer noch bis 55° Westlänge; jetzt tritt Gradientverschärfung westlich vom Kanal ein, wodurch weitere Warmluft angesaugt wird und stürmisch nach Nordosten fließt. Zwei Warmfronten sind um 2 Uhr zu erkennen; eine mit 7 bis 10° am Rhein und eine zweite über Westfrankreich, hinter der Luft von 13 bis 17° mit WSW-Stärke 8 einbricht. Die erste Front erreicht Potsdam um 12 Uhr, die zweite um 21 Uhr; hinter der letzteren steigt die Temperatur auf 12°. Später scheinen keine direkten Fronten mehr zu kommen. Die Temperatur nimmt nur noch langsam in dem Südweststrom zu.



Figur 8.



Figur 9.

c) Bedingungen für einen winterlichen Warmlufteinbruch.

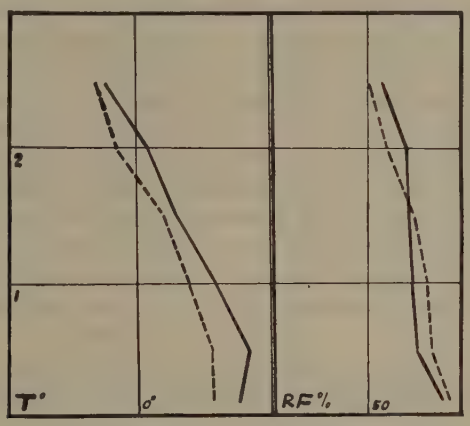
Zum Schluß der synoptischen Betrachtungen sollen einige besondere Bedingungen dargelegt werden, die nötig sind dafür, daß der durch die obengenannte Druckverteilung eingeleitete Warmluftstrom auch Mitteleuropa berührt. Denn es gibt viele ähnliche Drucklagen, bei denen die Warmluft nur den Westen Europas überflutet.

Insbesondere scheint die Gradientverschärfung im Westen des Kontinents typisch zu sein, die bei 71 % Fällen eintrat (am Kanaleingang, vom 2. zum 1. Vortag). Im Mittel verhalten sich die Gradienten wie folgt: 2. Vortag: 2.1; 1. Vortag: 2.5; Haupttag: 2.7 mm. Damit im Zusammenhang steht die Windzunahme über Mitteleuropa selbst. Der Wind frischt in Potsdam um 1.1 m/sek. zum Haupttag hin auf. Es ist ja klar, daß zum Durchbruch der Wärmewelle in Mitteleuropa eine gewisse Luftbewegung daselbst gehört, die die Luft heranführt und die kalte Bodenluft absaugt. Wenn Mitteleuropa in der schwachwindigen Vorderseite oder den Außenbezirken der Zyklone verbleibt, so ergießt sich der Warmluftstrom nur auf den Westen und Nordwesten des Kontinents, oder er macht sich nur in der Höhe bemerkbar, wie es am 12. II. 1925, 3. II. 1926 und 18. XI. 1926 der Fall war. Bei diesen Fällen, die alle drei Ausläuferfälle sind, liegt am Haupttag morgens am Boden eine kühle Südostströmung von 5 bis 6 m/sek.; darüber herrscht Westwind mit 20 m/sek. und eine starke Inversion. Die Erwärmung, die in den 3 Fällen gegen Mittag auch am Boden einsetzt, ist durch Vorgänge zu erklären, auf die wir später noch zu sprechen kommen. Es lassen sich auch genug Fälle finden, wo eine typische Azorenausläuferlage eintrat, wo aber Mitteleuropa in den schwachwindigen Außenbezirken der Zyklone verbleibt und vom Warmluftstrom nicht berührt wird; so am 20. I. 1928. Noch wichtiger scheint das schnelle Weiterrücken des Systems zum Haupttag hin zu sein, das im Mittel 540 km, zum 1. Vortag aber nur 320 km beträgt. Das ist ganz einleuchtend, denn das Weiterrücken des Tiefs bringt erst den Warmsektor nach Mitteleuropa, während bei einem auf dem Atlantik stationären Tief Mitteleuropa in der im Winter kühlen Südostströmung verbleibt. Auch dafür sind Fälle vorhanden. Vom 13. bis 17. I. 1930 herrscht eine typische Ausläuferlage; der tiefe Druck reicht sogar bis 20° hinunter, so daß sich auf der Ostseite des tiefen Drucks tropische Luftmassen von über 18° in Bewegung setzen, die aber Deutschland nicht berühren, da das Haupttief südlich Islands stationär bleibt.

Außerdem sei noch erwähnt, daß der Schub warmer Luft okkludiert sein kann, ehe er Mitteleuropa, besonders den östlichen Teil, erreicht hat. So war es am 24. XII. 1929, an dem ein Azorenausläufer Warmluft herbeiführte, die am 25. als Warmsektor über Frankreich lag, mit Temperaturen bis 13°. Bereits am 25. abends hat kühle Rückseitenluft die Warmluft okkludiert. In diesem Fall ist trotz Weiterzug des Tiefs und Gradientverschärfung am Boden kein Warmlufteinbruch erfolgt.

d) Die aerologischen Verhältnisse.

Leider ist mit den Aufstiegen nicht sehr viel anzufangen, da bei dem schlechten Wetter der warmen Wintertage die Aufstiege nicht hoch reichen. Von den 16 Fällen liegen für Boden und 500 m 14, für 1000 m und 1500 m 13, für 2000 m 10 und für 2500 m 6 Werte vor. Daraus sind zunächst die mittleren Temperaturen für die 500 m-Stufen errechnet, ebenso die relative Feuchtigkeit (Figur 10). Es zeigt sich



Figur 10. Mittlere Aufstiege am Vor- und Haupttag von 14 Fällen des „winterlichen Advektionstypus".

in allen Schichten Erwärmung vom Vortag zum Haupttag, am meisten aber in den untersten 1000 m; über 1500 m wird die Erwärmung gering. Die relative Feuchtigkeit nimmt dagegen nur bis 1500 m ab; darüber nimmt sie zu. Das entspricht bei gleichzeitiger Erwärmung einer starken Zunahme der spezifischen Feuchtigkeit in diesen Schichten, und es zeigt die Advektion feucht-warmer subtropischer Luftmassen. Untenstehende Tabelle zeigt die vertikalen Gradienten am Vor- und Haupttag und die Änderung der Temperatur und relativen Feuchtigkeit.

		Boden	500	1000	1500	2000	2500
	ΔT	+1.9	+ 3.1	+2.2	+0.9	+2.0	+0.6
	ΔRF	—4	—10	—4	—2	+8	+5
Gradient	Vortag		0.08	0.40	0.32	0.60	0.30
	Haupttag		—0.32	0.58	0.58	0.38	0.58

Man sieht also, daß am Haupttag eine Inversion am Boden liegt; diese Erscheinung dürfte im Winter im allgemeinen nicht verwundern, aber doch wohl bei zyklonalem Südwestwetter. Sie kommt wohl durch die Fälle hinein, wo der Warmlufteinbruch morgens sich noch nicht am Boden durchgesetzt hat (vgl. auch S. 18). Der Gradient ist bis auf die Schicht 1000 bis 1500 m am Haupttag größer geworden. Die Berge in Norddeutschland, Brocken und Schneekoppe, sind verhältnismäßig kalt und feucht. Es wurden die

Verhältnisse am Haupttag untersucht. Vielfach ist allerdings der abnorm warme Tag in Potsdam auch auf den Bergen ein warmer Tag, aber meist sind es nicht die wärmsten Tage im Monat. Das mittlere Maximum auf dem Brocken an den betreffenden Tagen beträgt 4.6° bei 96 % relativer Feuchtigkeit; für die Schneekoppe lauten die Werte 3.8 und 90 %. Die Berge haben also an den abnorm warmen Wintertagen des norddeutschen Flachlandes feuchtes, regnerisches, stürmisches und mildes Wetter, aber nicht immer Höchsttemperaturen.

4. Der sommerliche Advektionstypus.

a) Allgemeines über Entstehung hoher Sommertemperaturen.

Die im vorangehenden Kapitel behandelten Winterfälle unterscheiden sich, abgesehen von dreien, von den Sommerfällen dadurch, daß hier Advektion wirklich einzige Ursache ist. Im Sommer tritt eine Komplikation durch die Strahlung ein. Allen sommerlichen Fällen aber, also fast allen, die im folgenden besprochen werden sollen, wohnt ein charakteristisches Merkmal inne. Durch irgendeinen Vorgang werden zunächst die höheren Luftschichten erwärmt. Dafür kommen 2 Faktoren in Frage: dynamische und advektive Erwärmung. Wenn diese beiden Umstände eine in den höheren Schichten warme Atmosphäre schaffen, womöglich Inversionen, dann sind die Bedingungen dafür erfüllt, daß am Boden die Temperatur schnell zu hohen Werten steigen kann. Dafür kommen wieder 2 Faktoren in Frage. Erst einmal kann die seichte Kaltluftschicht am Boden durch Strahlung schnell angeheizt werden, ohne daß Konvektion bis in größere Höhen eintreten kann. Oder aber es tritt absteigende Luftbewegung bis zum Erdboden auf. Wenn es sich um stabil geschichtete Luftmassen oder gar um Inversionen handelt, die absinken, dann muß daraus eine Erwärmung resultieren, die man ja auch schon unter dem Namen „Föhn aus der freien Atmosphäre" kennt. Natürlich kommen auch Fälle vor, wo die Advektion auch am Boden wirkt und die hohe Bodentemperatur fast ausschließlich durch Advektion verursacht wird, wie im Winter.

Man muß sich darüber klar sein, daß selbst mehrere Tage hindurch anhaltendes Strahlungswetter allein nie zu sehr hohen Bodentemperaturen führen kann, wenn sich die Höhen nicht irgendwie miterwärmen. Das würde ja zu einer großen Labilität der unteren Schichten führen. Die Folge davon wäre Konvektion bis in große Höhen hinauf, durch die immer kältere Luft aus der Höhe zu Boden sinkt. Es muß so ein riesiger Raum durch die Strahlungswärme geheizt werden, wodurch die Bodentemperatur nur langsam steigen kann. Wenn aber die Höhen sehr warm sind, womöglich Inversionen vorhanden sind, kann sich Konvektion nur schwach entwickeln und erst dann richtig auftreten, wenn in den unteren Schichten der adiabatische Gradient hergestellt ist, mit anderen Worten, wenn die Inversion aufgefüllt ist. Die Heizung kommt also nur einem sehr kleinen Raum zugute, und die Bodentemperatur kann infolgedessen sehr schnell ansteigen.

Man kann daher wohl sagen, daß dynamische und advektive Erwärmung die Vorbedingungen für hohe Bodentemperaturen sind. Es ließ sich nun bei allen Fällen ziemlich einwandfrei nachweisen, ob dynamische oder advektive Vorgänge die Höhen erwärmten. Sämtliche Fälle sind daher zunächst in zwei Gruppen aufgeteilt: 1. sommerlicher Advektionstypus, 2. antizyklonaler Typus (dynamische Erwärmung). Hinterher sollen ein paar charakteristische Fälle gezeigt werden, die den weiteren Vorgang der Bodenerwärmung durch Strahlung oder Föhn aus der freien Atmosphäre gut veranschaulichen.

Die im Folgenden näher betrachteten 7 Fälle stellen Tage im Sommer dar (April bis Oktober), an denen abnorm hohe Maxima hauptsächlich durch einen advektiven Wärmeeinbruch verursacht wurden. Merkwürdig ist, daß sich im Juni, August und September keine derartigen Fälle finden lassen. Darin scheint keine Gesetzmäßigkeit zu liegen; vielmehr kann es bei der geringen Anzahl von Jahren Zufall sein. Interessant ist aber, daß im April 3 Fälle vorliegen, und alle 3 sind eigentlich die besten Fälle. Im

allgemeinen sind diese sommerlichen Advektionen nicht so leicht zu behandeln wie die Winterfälle, da sie geringer an der Zahl sind und die am Boden aufgetretene Maximaltemperatur nie die Temperatur der herbeigeführten Luftmasse ist, sondern durch Strahlung erhöht ist.

b) Mittelwerte der Elemente.

Die untenstehende Tabelle zeigt die mittleren Verhältnisse am 2. und 1. Vortag, am Haupttag und Nachtag einer sommerlichen Wärmewelle. Bei diesen Fällen handelt es sich also um markante Wärmeeinbrüche; denn einen Anstieg des Maximums um 10° an 2 Tagen findet man nicht sehr häufig. Der Wärmewelle folgt ein Kaltlufteinbruch, nämlich eine Abkühlung von 8°. Daß der Druck dabei nur so wenig steigt, stimmt mit der schon genannten Arbeit von Trabert überein (vgl. S. 11).

	2. Vortag	1. Vortag	Haupttag	Nachtag
Maximum	19.4	24.1	29.4	21.7
Luftdruck	753.8	754.0	750.4	750.7
Bewölkung	7.0	5.7	5.4	6.3
Windstärke in m/sek. . .	4.1	4.3	5.7	4.0
NE-Wind	—	11	—	19
SE-Wind	14	22	29	33
SW-Wind	62	50	48	9
NW-Wind	19	17	19	39
C	5	—	4	—

Die Bewölkung ist relativ groß, liegt über dem Mittel eines warmen Sommertages, wodurch großer Strahlungseinfluß schon weitgehend unwahrscheinlich ist. Der Wind beträgt am Haupttag 5.7 m/sek.; also auch ein Wert, der über dem Mittel liegt, was auch schon auf Advektion deutet. In 1500 m Höhe aber herrschen bereits 13 m/sek. Die vorherrschende Windrichtung ist an den Vor- und Haupttagen die südwestliche, am Haupttage kommen auch SE-Winde viel vor, am Nachtag sind entweder NW- oder SE-Winde häufig.

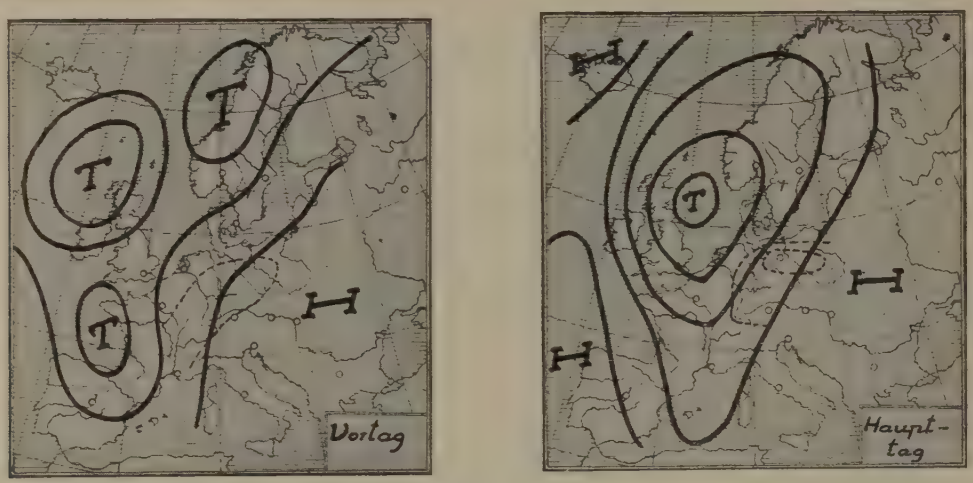
c) Die synoptische Betrachtung.

Die Druckverteilung ist bei den sommerlichen Advektionen nicht bei allen Fällen so übereinstimmend, wie bei den Winterfällen, worauf schon die mehr wechselnde Windrichtung deutete. Es erfolgt die Advektion zwar immer noch am Rande, meist an den SE- bis E-Seiten der Zyklonen; aber sie sind nicht mehr ungewöhnlich groß und tief. Nur 2 Fälle ließen sich finden, die dem Isobarenbild nach dem winterlichen Advektionstypus zuzurechnen sind, nämlich der 16. IV. 1934 und 5. X. 1929, bei denen langer geradliniger lang anhaltender Isobarenverlauf bis in subtropische Breiten des Westatlantiks führt. Bei den anderen Fällen handelt es sich nun nicht mehr um sehr weithergeholte Luftmassen, sondern um Advektion kleineren Stils. Es sollen im Folgenden die 3 Isobarentypen besprochen werden. Günstig ist, daß 2 Fälle gleichzeitig 2 Typen angehören, so daß sich die Zahl der Fälle gewissermaßen auf 9 erhöht.

Typus 1: Sekundäre Biskaya-Zyklone.

Dieser Isobarentypus scheint für sommerliche Advektionen am charakteristischsten zu sein. Es zeigt sich bei diesen Fällen am 2. oder 1. Vortag eine ziemlich stationäre sekundäre Biskaya-Zyklone. Hiervon liegen 5 von 7 Fällen vor, nämlich 15. IV. 1922, 6. VII. 1922, 6. V. 1923, 5. X. 1929, 17. V. 1931. Die Zyklone liegt nicht immer über der Biskaya, sondern meist etwas südöstlich davon. Daß bei einem solchen stationären System ein Warmlufttransport aus dem Mittelmeer, zum Teil wohl auch aus Nordafrika, ein-

setzen muß, ist wohl klar. Bei 4 von den 5 Fällen läßt sich auch deutlich erkennen, daß die Luft aus diesen Gegenden stammt. Bei einem Fall stammt sie aus Marokka, vielleicht noch südlicher, nämlich am 15. IV. 1922. Bei zweien kommt sie aus dem westlichen Mittelmeer, bei einem weiteren aus Südfrankreich. Die Struktur der Warmlufteinbrüche ist nicht wie im Winter die von Warmsektoren und Warmluftstaffeln; vielmehr ist es meist allmähliche Temperaturzunahme in dem warmen Südstrom. Deutlich ausgeprägte Warmfronten ließen sich bei den 5 Fällen kaum finden. Die Figuren 11 und 12 zeigen die idealisierte



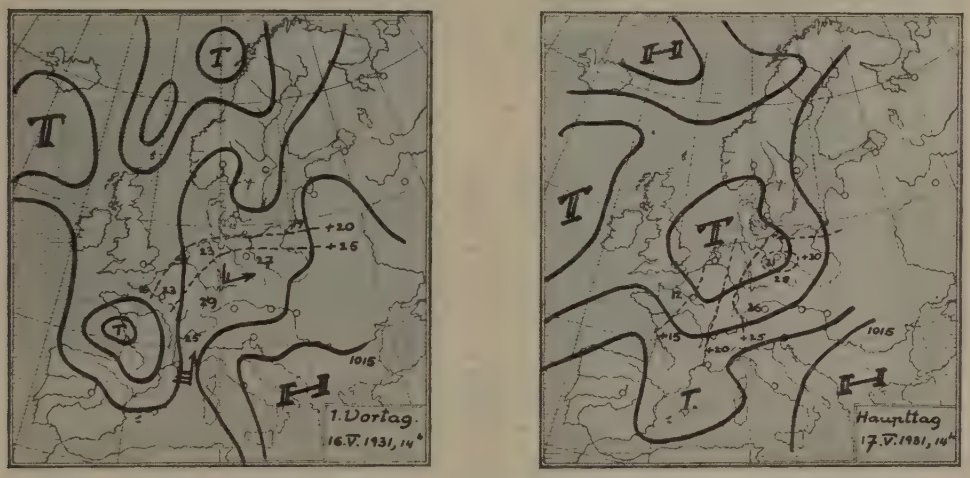
Figuren 11 und 12. Isobarenbild des „sommerlichen Advektionstypus I“: sekundäre Biskayazyklone.

mittlere Wetterlage dieser 5 Fälle: man sieht, wie das Haupttief zum Haupttag nach Südosten zieht, sich etwas vertieft, der Ausläufer nach Osten zieht, und wie das wärmste Gebiet am Vortag noch in Verbindung mit dem Mittelmeer steht, am Haupttag aber abgeriegelt ist und über dem mittleren Ostdeutschland liegt. Aus dieser Druckverteilung heraus versteht man auch den Kälteeinbruch, der den warmen Tagen folgt. Bei 2 Fällen hat die Vertiefung des Haupttiefs zum Haupttag hin, die im Mittel fast 10 mm beträgt, die Advektion noch beschleunigt. Es ist nun aber nicht so zu verstehen, daß die Luftmassen an ihrem Ausgangspunkt schon die Temperaturen haben, die nachher in Deutschland auftreten. Vielmehr schafft die Advektion, die meist in der Höhe besonders stark ist, die Bedingung dafür, daß geringe Strahlung die Temperatur am Boden zu hohen Werten treiben kann.

Einzelfall.

Als Beispiel einer sommerlichen Advektion auf der Vorderseite einer sekundären Biskaya-Zyklone soll möglichst kurz der 17. V. 1931 betrachtet werden (Figuren 13 bis 15). Am 15. setzt sich morgens eine Luftmasse von 20° auf der Vorderseite der plötzlich entwickelten sekundären Biskaya-Zyklone mit Süd-Stärke 3 bis 6 aus dem Mittelmeer in Südfrankreich in Bewegung. Am gleichen Tage noch bringt sie in Südwestdeutschland Maxima über 25°. Am 16. hat sich die sekundäre Zyklone vertieft, der Warmlufttransport aus dem Mittelmeer wird dadurch beschleunigt und bringt auch Mitteldeutschland schon Sommertage. Die Wärmewelle hat die Berliner Gegend in Form einer Warmfront mit leichtem Regen erreicht. Der Lindenberger Aufstieg zeigt das typische Bild einer advektiven Erwärmung (Figur 15): Erwärmung der Höhen bei gleichzeitiger Feuchtezunahme und stürmischen Höhenwinden aus Südwest. Das Wetter in dem warmen Südweststrom bleibt heiter bis wolkig, weitere Fronten folgen nicht. Am 17. ist bis mindestens 4 km Erwärmung und Austrocknung eingetreten. Es ist also kein Luftmassenwechsel mehr erfolgt, sondern nur langsame Temperaturzunahme in dem Südweststrom. Der Zustandskurve vom Morgen nach können

etwa Maxima von etwa 28° am Boden auftreten. Da es aber wahrscheinlich ist, daß die Höhen noch weiter gegen Mittag hin advektiv erwärmt sind, können wohl am Boden 30° durch Strahlung auftreten, ohne in den unteren Schichten einen überadiabatischen Gradienten anzunehmen.



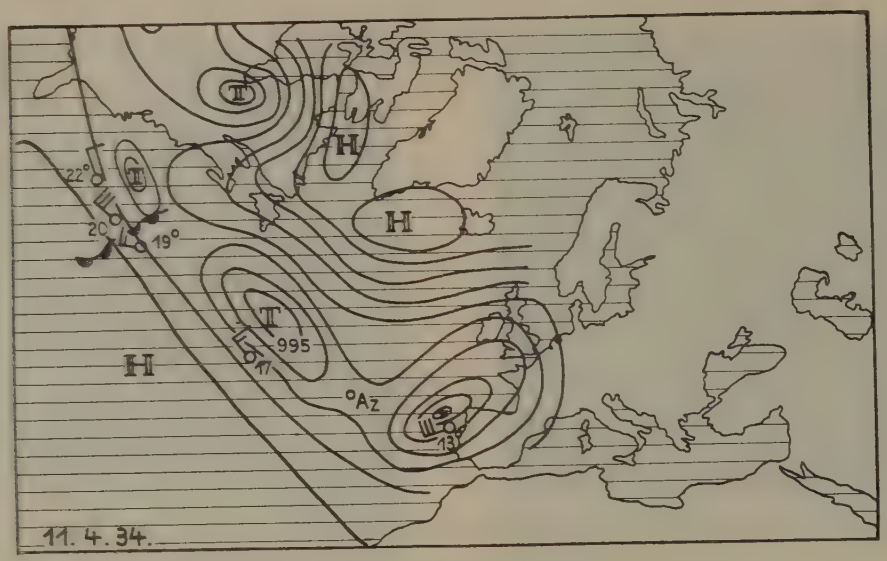
Figuren 13 und 14. Isobaren, Winde und Maxima (Sommerlicher Advektionstypus I: „sekundäre Biskayazyklone").

Figur 15. Lindenberger Aufstiege vom 15. (--), 16. (—) und 17. (▬) Mai 1931, morgens.

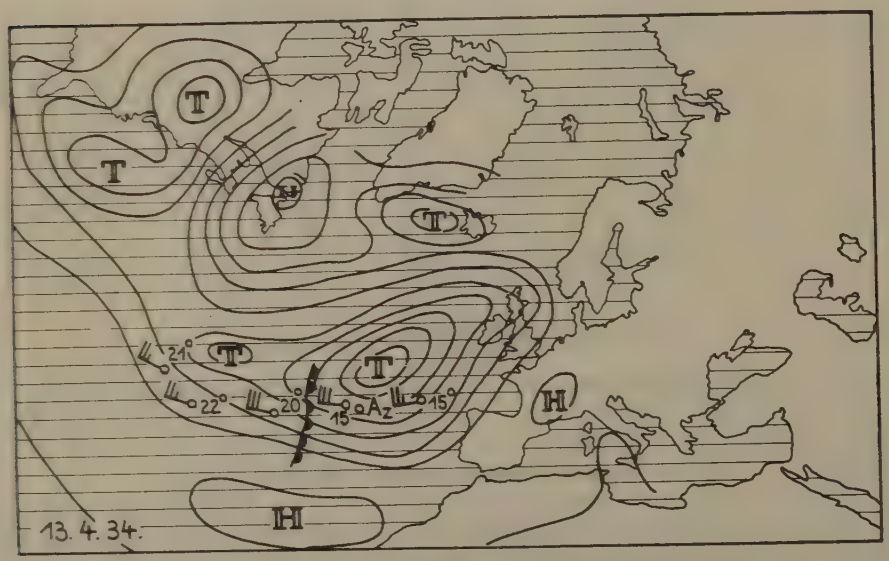
Typus 2: Lange geradlinige Isobaren.

Da für diesen Typus nur 2 Fälle vorliegen, hat es keinen Zweck, allgemeine Betrachtungen anzustellen. Es soll nur der Hauptfall, der 17. IV. 1934, kurz behandelt werden. Dieser Tag hat nämlich mit seinen außerordentlich hohen Maxima in Mitteldeutschland sämtliche bisher im April beobachteten Höchstwerte überboten. Es traten nämlich Maxima über 30° auf, also Tropentage mitten im April; dagegen gingen am 18. IV. 1936 in den gleichen Gegenden noch ungeheure Schneemassen nieder. Die genaue Untersuchung dieses Falles ergab, daß es sich wie bei der ungeheuren Winteranomalie vom 30. XII. 1925 um einen Transport echt tropischer Luftmassen an der Südseite einer über den ganzen Ozean bis nach

Mexiko reichenden Rinne tiefen Druckes handelte. Diese Druckverteilung trat erstmalig am 11. IV. auf, also am 6. Vortag (Figuren 16 und 17). Man sieht, wie ein breites WSW-Windgebiet von Florida bis nach Spanien reicht und sich eine Warmluftmasse von über 20° in Bewegung setzt, die am 13. fast die

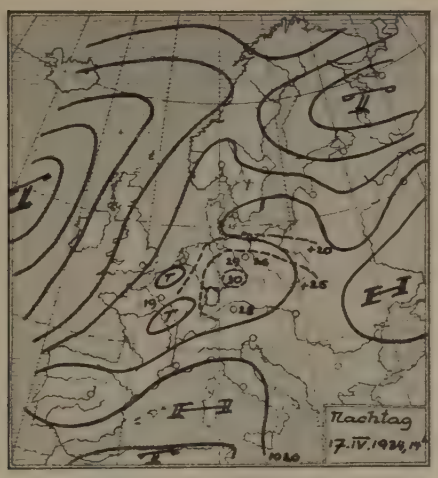


Figur 16.

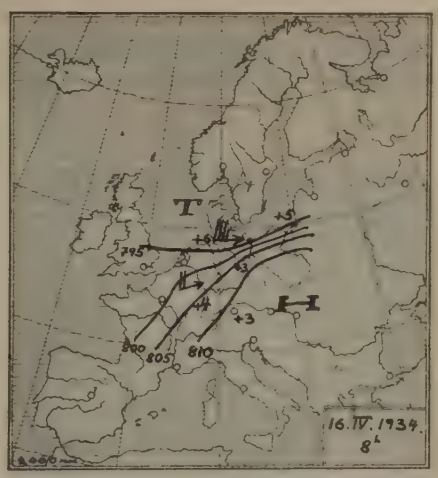


Figur 17.

Azoren erreicht hat. Man beachte die weite Südwärtserstreckung des SW-Windgebietes, das am 12. bis 20° Breite gereicht haben mag. Vom 14. ab fehlt am Boden jede Spur von Temperaturen über 20°. Man muß nun annehmen, daß die eigentlichen echten Warmluftmassen aufgleiten und nur in der Höhe nach



Figur 18. Isobaren und Maxima; Wärmeeinbruch 16. IV. 1934.



Figur 19. Isobaren, Höhenwinde und Temperaturänderung vom 15. zum 16. in 2000 m.

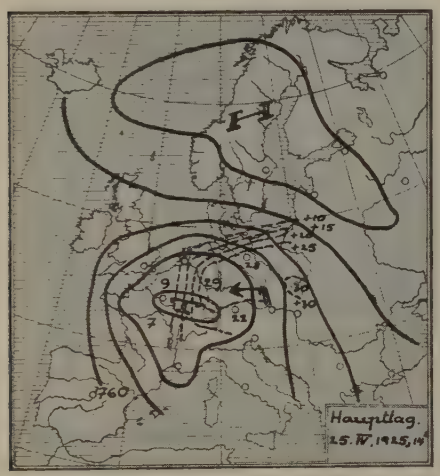
Europa strömen, worauf das am 14. vor Westeuropa liegende ausgedehnte Aufgleitregengebiet deutet. Daß sie am 15. und 16. über Deutschland und Frankreich in der Höhe nach Osten fluten, zeigen die Isobaren in 2000 m Höhe, die Höhenwinde an den betreffenden Tagen und die Temperaturänderungen (Figur 19). Auf Advektion warmer feuchter Luftmassen deutet besonders der Aufstieg vom 16. Bis mindestens 4 km hinauf ist es wärmer und feuchter geworden. In Berlin wurden in 1300 m noch 13° registriert. Erst dadurch ist es möglich, daß bei dem antizyklonalen Strahlungswetter am 16. die Bodentemperatur bis 27° ansteigt, wenn die Schichtung in den unteren Niveaus nicht labil werden soll, was sie gemäß dem Mittagsaufstieg auch nicht war. Am 17. treten in Deutschland Maxima über 30° auf (Figur 18). Der Aufstieg zeigt noch Erwärmung um 1 bis 2° bis 4 km hinauf. Die Erwärmung der Höhen durch den Südweststrom zeigen auch die Berge, die alle (außer Schneekoppe und Zugspitze natürlich) Maxima bis 20° haben, bei SW-Stärke 5, sogar der Feldberg i. S.

Warmlufttransport vom Mittelatlantik her an einem umfangreichen Zyklonensystem und auf der Vorderseite eines Azorenausläufers führten auch am 4. und 5. X. 1929 in Süd- und Mitteldeutschland zu Warmluftadvektionen, mit Hilfe derer durch Strahlung und Absinkbewegung Maxima bis 28° auftraten.

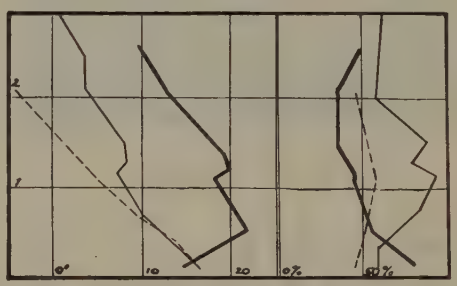
Typus 3: Genua-Zyklone.

Dieser sehr interessante Fall vom 25. IV. 1926, der in Potsdam einen Anstieg des Maximums von einem Tag zum anderen von 16° auf fast 28° brachte, gehört einer Genua-Zyklone an, wie sie oft im Frühjahr mit ihren warmen vorderseitigen Luftmassen das östliche Deutschland überschwemmt, während im Westen winterliches Wetter herrschen kann. Nur selten aber kommt es vor, daß diese Warmluftmassen eine derart hohe Temperatur annehmen. Am Vortag erscheinen zuerst die warmen Luftmassen mit 20° Morgentemperatur über Ungarn und dem Balkan; von hier scheint die Wärmewelle ihren Ausgang zu nehmen. Sie vertieft die Mittelmeerzyklone und trägt sie nach Norden vor. Am Haupttag morgens liegt eine Warmfront über Südostdeutschland, eine Front, wie sie so schön selten bei uns auftritt. Unmittelbar an der Front beträgt der Temperatursprung 7°. In Dresden aber herrschen 20°, in Aachen nur 8°. Noch größer ist die Differenz der Maxima; in Frankfurt a. M. werden 29° erreicht, in Paris nur 9°! (Figur 20.) Sehr lehrreich sind die Aufstiege (Figur 21). Bereits am Vortag sieht man in 1200 m Höhe die aus Süd-

osten aufgleitenden, durch Hebung feuchten Luftmassen über dem kühlen ENE-Wind. Am Haupttag, am 25., liegt in den unteren 500 m noch ein Rest der kühlen Bodenluft. Über dieser gleitet die Warmluft mit Sturmesstärke auf, ohne Kondensation, das zeigt wieder die große Trockenheit der Luft, wie ja auch der Frontdurchgang bei einem Temperatursprung von 10° in 4 Stunden ohne Niederschlag vor sich ging.



Figur 20. Isobaren und Maxima am 25. IV. 1925 (sommerlicher Advektionstypus III: Genua-Zyklone).



Figur 21. Lindenberger Aufstiege vom 23. 14 Uhr (– –), 24. 14 Uhr (—) und 25. 7 Uhr (▬). April 1925

Bis 14 Uhr, wo das Maximum von 28° auftritt, scheint die Sonne weniger als 1 Stunde. Der Temperaturanstieg am Boden ist daher wohl durch Föhn aus der freien Atmosphäre zu erklären, der bei den 20° in 1200 m zu verstehen ist; oder aber die Kaltluft ist auch am Boden durch die Advektion restlos beseitigt. Der nächste Tag zeigt deutlich, wie wichtig zum Auftreten einer hohen Bodentemperatur eine warme Höhe ist: Hier scheint die Sonne 12 Stunden lang bei leichtem SE-Wind, und doch wird nur ein Maximum von 25.8° erreicht. Wenn man sich aber den Aufstieg ansieht, so ist das ganz verständlich; denn die Höhen sind bereits bis mindestens 2.5 km hinauf um 7° kälter als am Vortag, während es am Boden sogar wärmer geworden ist. Dadurch kam die ganze Strahlungsenergie den höheren Luftschichten mit zugute, und Föhn aus der freien Atmosphäre führt bei einer kalten Höhe nie zu einer hohen Bodentemperatur.

d) Die aerologischen Verhältnisse.

Bei 6 Fällen lag geeignetes Material vor, um daraus mittlere Aufstiege zu zeichnen (Figur 22). Man sieht Erwärmung am Vor- und Haupttag bis mindestens 2500 m. Am Vortag besonders in den größeren Höhen; dabei nimmt die relative Feuchtigkeit zu, das heißt, die spezifische Feuchtigkeit nimmt noch stärker zu, wie die Figur 22 zeigt. Das beweist, daß es sich um advektive Erwärmung durch subtropische Luftmassen handelt. Zum Haupttag tritt Erwärmung besonders in 500 und 1000 m bei großer Austrocknung und etwa gleichbleibender spezifischer Feuchte ein. Hier kann dynamische Erwärmung mitgewirkt haben. Man kann sich aber auch weitere Erwärmung in dem warmen Luftstrom vorstellen, ohne daß es zu einem Luftmassenwechsel kommt, wobei ja die spezifische Feuchte sich nicht ändern muß. Wir schließen daraus, daß bei den sommerlichen Advektionen die Hauptwärmewelle am Vortag einsetzt, und daß zum Haupttag dynamische Erwärmung und weitere Temperaturzunahme in dem Warmluftstrom einsetzt.

Figur 22, Mittlere Aufstiege am 2. Vortag (– –), 1. Vortag (—) und Haupttag (—) von 6 Fällen des „sommerlichen Advektionstypus". (Temperatur, relative und spezifische Feuchte.)

5. Der antizyklonale Typus (dynamische Erwärmung).

Die im Folgenden behandelten Fälle stellen Tage dar, an denen hohe Maxima in der Hauptsache durch Hochdruckerwärmung (dynamische Erwärmung) verursacht wurden, oder wo die dynamische Erwärmung der Höhen Bedingungen dafür schufen, daß durch Strahlung und Absinkbewegung am Boden hohe Temperaturen auftreten konnten. Das Kriterium, ob es sich um dynamische oder advektive Erwärmung handelt, wurde bei jedem Fall mit Hilfe der Wetterkarten, Höhenwinde und der Zustandskurven angestellt. Insgesamt ließen sich 28 Fälle finden. Davon fallen keine Fälle in die Monate Dezember und Januar. Das hängt erst einmal mit dem zusammen, was in Kapitel 4 am Anfang gesagt ist, daß nämlich immer noch Strahlung dazugehört, die die unterste Bodenschicht erwärmt, die von der dynamischen Erwärmung nicht mit erfaßt wird. Daß Föhn aus der freien Atmosphäre in diesen Monaten nicht auftritt, ist vielleicht damit zu erklären, daß bei dem antizyklonalen Wetter der Fälle mit dynamischer Erwärmung im Winter eine zu träge Kaltluftschicht am Boden liegt. Über die anderen Monate verteilen sich die Fälle wie folgt: II 1, III 4, IV 1, V 8, VI 3, VII 4, VIII 4, IX 4, X 3, XI 1.

a) Mittelwerte der Elemente.

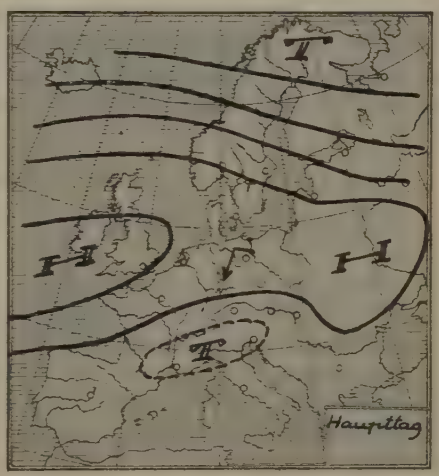
	2. Vortag	1. Vortag	Haupttag	Nachtag
Maximum	22.2	25.8	28.8	24.0
Luftdruck	758.3	757.8	755.3	754.8
Bewölkung	4.2	2.3	3.2	5.8
Windstärke		3.7	4.1	4.6
NE		9	5	11
SE		39	35	11
SW		27	39	22
NW		25	21	56

Wie die Tabelle zeigt, handelt es sich nicht um so sehr markante plötzliche Wärmeeinbrüche wie bei den Advektionsfällen, sondern um einen allmählichen Anstieg. Das Maximum steigt um 6.4° innerhalb zweier Tage an. Der Luftdruck zeigt wieder das typische Verhalten: er fällt sogar zum Nachtag noch weiter, trotz der Abkühlung. Die Bewölkung ist auffällig gering, besonders am Vortag, woraus man die Absinkbewegung erkennt. Der Wind ist infolge des antizyklonalen Charakters der Fälle schwach; alle diese Erscheinungen und der Umstand, daß in 1500 m nur 6 bis 7 m sek. Wind im Mittel der 28 Fälle weht, machen advektive Vorgänge weitgehend unwahrscheinlich. Die vorherrschenden Winde sind SE und SW, weniger NW. Am Nachtag weht ein frischer NW.

b) Die synoptische Betrachtung.

Die Bearbeitung der Wetterlage ergab ein ziemlich einheitliches Bild. Bei fast allen Fällen herrscht antizyklonales Wetter. Mitteldeutschland liegt aber nicht im Zentrum des Hochdruckgebiets, sondern stets an der Westseite. Am Vortag liegt es bei 34 % Fällen noch im westlichen Bereich der Antizyklone, bei 57 % Fällen im Zwischengebiet zwischen Hoch und Tief, und bei den restlichen 9 % herrscht zyklonales Wetter. Am Haupttag liegt Mitteleuropa in keinem Fall mehr im direkten Bereich des Hochs. Nicht in einem einzigen Fall des Vor- und Haupttages liegt der Kern der Antizyklone über dem mittleren Deutschland. Die Lage des Kerngebietes der Hochs und der Kerne der Tiefs bei den 3 zyklonalen Fällen zeigt Figur 23. Damit ist nun nicht etwa gesagt, daß dynamische Erwärmung in den Kerngebieten der Antizyklone weniger stark entwickelt ist. Vielmehr geht hieraus nur hervor, daß an den Tagen, wo mit Hilfe dynamischer Erwärmung abnorm hohe Bodentemperaturen erreicht werden, Mitteldeutschland am Rande der Hochs liegt. Man kann sich das so vorstellen, daß der Gesamtbetrag der dynamischen Erwärmung am größten zum Ende einer Hochdruckwetterlage ist; und dabei liegt ja meist, wie wir wissen, der hohe Druck im Osten und Südosten von uns. Aus der Figur 23 kann man entnehmen, daß die dynamische Erwärmung, die zu hohen Bodentemperaturen führt, hauptsächlich bei 3 verschiedenen Wetterlagen auftritt. Am häufigsten ist sie auf der Rückseite von Balkan- und Rußland-Antizyklonen; vereinzelt scheint sie aber auch bei Azorenhochdrucklagen aufzutreten und ganz selten auch bei zyklonalem SW-Wetter. Da bei den 3 zyklonalen Fällen aber auch Hochdruckgebiete über dem Balkan liegen, kann man diese Fälle dem Typus der osteuropäischen Antizyklonen mit zuordnen. Wir betrachten zuerst die Azorenhochfälle.

Figur 23. Lage der Kerne von den Druckgebilden bei „dynamischer Erwärmung". T = Tief. o = Azorenhochausläufer. + = osteurop. Antizyklonen.



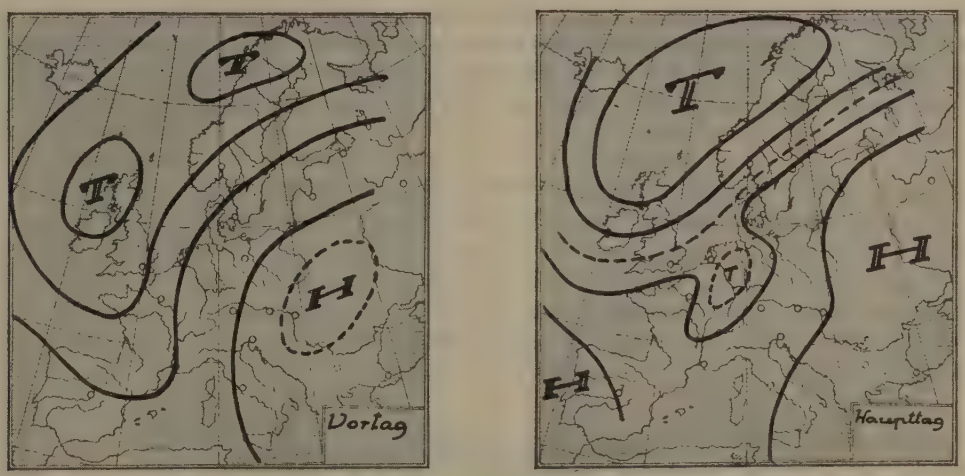
Figur 24. Isobarentypus I bei dynamischer Erwärmung: Ausläufer des Azorenhochs.

Typus 1: Ausläufer des Azorenhochs.

Zu diesem Typus gehören 3 Fälle, bei denen Nord- und Mitteldeutschland unter dem Einfluß eines westlichen Hochs bei nördlicher Luftbewegung starke dynamische Erwärmung erhielt. Hierzu gehören: 4. VI. 1921, 13. und 16. VII. 1928. Das Charakteristikum dieser Fälle ist hoher Druck westlich Englands und tiefer Druck über dem Mittelmeer; typisch scheinen flache Tiefs über der Alpengegend zu sein, auf deren Nordseite offenbar stark absinkende Bewegung eintritt. Die Aufstiege zeigen, daß die stärkste dynamische Erwärmung der Höhen am Vortag einsetzt, aber auch schon am 2. Vortag, und Erwärmung in den untersten Schichten am Haupttag. Für die Absinkbewegung am Vortag ist das in allen Fällen fast wolkenlose Wetter bezeichnend. Die idealisierte Wetterlage zeigt Figur 24.

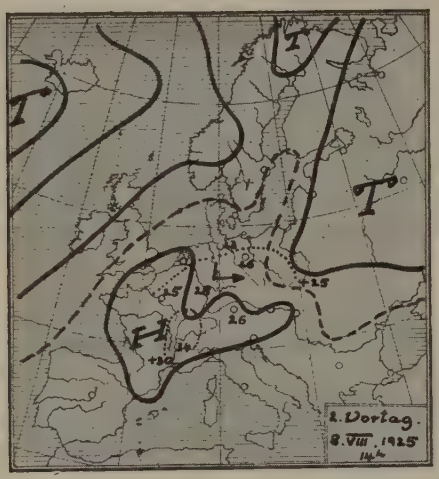
Typus 2: Osteuropäische Antizyklonen.

Während der erste Typus wohl mehr Ausnahmefälle darstellt, scheint dieser Typus der normale zu sein. Ihm gehören fast 90% der Fälle mit dynamischer Erwärmung an. Die Wetterlage dieser 25 Fälle ist tatsächlich außerordentlich übereinstimmend. Immer wandert eine Antizyklone über Deutschland hinweg nach Osten oder Südosten; ein Tief rückt vom Atlantik heran. Die dynamische Erwärmung der Höhen hat, kurz bevor der zyklonale Einfluß einsetzt, ein solches Maß erreicht, daß auch am Boden hohe Temperaturen auftreten können. Sehr gut ausgeprägt ist ein flacher gewittersackähnlicher Ausläufer, der am Haupttag mittags etwa über dem unteren Rhein liegt und mindestens bei der Hälfte der Fälle ganz typisch vorhanden ist. Man sieht ihn auf der idealisierten Wetterkarte (Figuren 25 und 26).

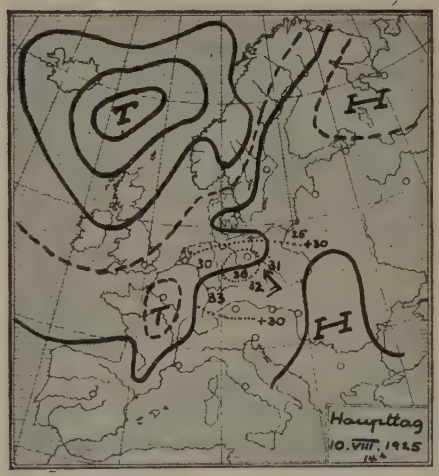


Figuren 25 und 26. Isobarentypus II bei dynamischer Erwärmung: „osteuropäische Antizyklonen".

Die höchsten Temperaturen treten immer unmittelbar auf der Vorderseite dieses Gebietes auf, nämlich einmal am mittleren Rhein (Frankfurt und Aachen) und am meisten in dem Strich Magdeburg—Berlin—Grünberg. Als Vertreter dieses Typus sei der 10. VIII. 1925 angeführt (Figuren 27 und 28). Hier sieht man, wie das Hoch am 2. Vortag noch im Südwesten liegt. Zum 1. Vortag tritt in ganz Mitteldeutschland starke Erwärmung ein, wo es nämlich an die Westseite des Hochs gelangt. Am Haupttag rückt ein Gewittersack über Frankreich nach Osten vor; auf seiner Vorderseite werden Maxima über 35° erreicht. Der Aufstieg zeigt stärkste dynamische Erwärmung zum Haupttag hin bei schwachen südwestlichen Winden.



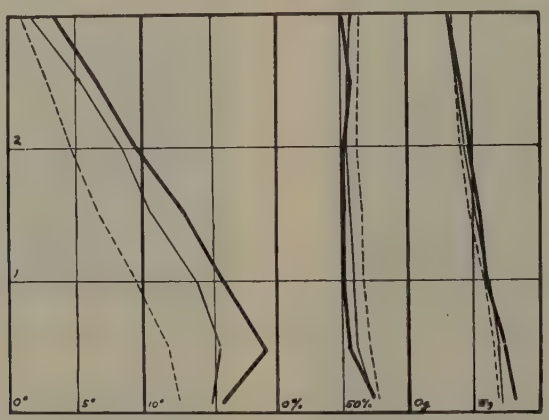
Figur 27. Isobaren, Winde und Maxima.
(Fall: 10. VIII. 1925.)



Figur 28. Isobaren, Winde und Maxima
vom 10. VIII. 1925.

c) Die aerologischen Verhältnisse.

Leider konnten an den windschwachen, besonders in den Höhen oft windstillen Tagen, die Drachenaufstiege in Lindenberg nur schlecht durchgeführt werden; es konnte aber, um immer Aufstiege von 3 hintereinander liegenden Tagen zu bekommen, von dem Lindenberger Material nicht abgesehen werden. Es sind von den 28 Fällen nur 21 aerologisch zu verwerten, und bei einigen davon war noch Inter-



Figur 29. Mittlere Aufstiege am 2. Vortag (--), 1. Vortag (—) und Haupttag (▬) morgens von 21 Fällen der „dynamischen Erwärmung".

polation nötig. Die Anzahl genügt aber doch, um daraus mittlere Temperatur, relative Feuchtigkeit und spezifische Feuchtigkeit für die einzelnen Niveaus zu berechnen. Figur 29 zeigt diese mittleren Aufstiege. Wir sehen, wie zum 1. Vortag hin die Erwärmung besonders in den mittleren Schichten beträchtlich ist,

am meisten in 1000 m (3.9°). Die spezifische Feuchtigkeit nimmt nur ganz wenig zu, etwa um 0.5 g; das entspricht einer Abnahme der relativen Feuchtigkeit. Zum Haupttag tritt die stärkste Erwärmung in 500 m ein (3.6°); über 2000 m wird die Erwärmung kleiner als 2°. Die Inversion, die am Vortag bereits schwach ausgebildet war, tritt stark hervor. In 1000 m Höhe herrscht noch die gleiche Temperatur wie am Boden. Das kann man nicht einfach als nächtliche Strahlungsinversion bezeichnen, sondern es ist eine typische Hochdruckinversion. Außerdem haben wir ja gesehen, daß die Bewölkung am Haupttag größer ist als am Vortag; hier müßte also die nächtliche Ausstrahlung weniger wirksam sein als am Vortag. Der Temperaturanstieg vom 2. Vortag zum Haupttag ist am Boden selbst am geringsten, nämlich 3.4°. Daß es sich hier um dynamische Erwärmung handelt, schlossen wir bereits auf Seite 28 aus den schwachen Höhenwinden, die in 1500 m nur 6 bis 7 m/sek. betragen. Die 3 zyklonalen Fälle und einige Außenseiter verursachten, daß dieser Wert noch relativ groß ist. Die richtigen antizyklonalen Fälle sind gekennzeichnet durch noch schwächeren Wind, 2 bis 3 m/sek. oder sogar Windstillen oft bis 3 km hinauf. Außerdem schließen wir es aus der Wetterlage, die ja mit Ausnahme dreier Fälle antizyklonal war, und aus dem heiteren Wetter, das besonders am Vortag herrschte. Und dann ist die fast gleichbleibende spezifische Feuchtigkeit ja dafür bezeichnend, daß kein Luftmassenwechsel eingetreten ist. Daß sie doch etwas zunimmt, ist allerdings bedenklich; gewiß mag der ein und der andere Tag dabei sein, wo advektive Vorgänge nicht ganz aus dem Spiel waren.

Die Höhe, aus der die Luftmassen abgesunken sind, läßt sich aus der Verminderung des vertikalen Temperaturgradienten bestimmen, und zwar nach der Wegenerschen Formel (s. Lit.-Verz. 13, S. 183). Danach ist

$$h_2 = h_1 \left(\frac{t_2 - 1}{t_1 - 1} \right)$$

Hierin bedeutet t_2 der Gradient der abgesunkenen Luftmasse, t_1 der absinkenden, h_2 die Höhe, aus der die Luft absinkt, und h_1 die Höhe, bis zu der die Luft abgesunken ist. Nimmt man an, daß die Inversion am Haupttag durch Schrumpfen der Luftmassen vom 2. Vortag entstanden ist, also aus einer Luftmasse mit einem Gradienten von 0.45, und setzt man für den Gradienten am Haupttag vom Boden bis 500 m — 0.75 ein, so bekommt man für h_2 1600 m. Für Schrumpfung $h_2 - h_1$ bekommt man dann 1100 m. Da das Bild der Zustandskurven zeigt, daß die Absinkbewegung am 1. Vortag stärker war, nehmen wir an, daß die Luft vom 2. zum 1. Vortag um 600 m, zum Haupttag um 500 m gesunken ist. Nimmt man ferner an, daß die Zustandskurve immer adiabatisch aus dem Vortag hervorgegangen ist, so läßt sich daraus auch die mittlere Absinkhöhe errechnen. Sie beträgt zum 1. Vortag 600 m, zum Haupttag 530 m; die Werte stimmen gut mit den obigen überein. Wir können also sagen, daß die Absinkbewegung zum Vortag etwa 600 m, zum Haupttag etwa 500 m betrug. Diese Werte stimmen gut mit einer Arbeit von Thomas über „Temperaturanstiege im Sommer" überein (s. Lit.-Verz. 9, S. 105); Thomas hat für die Absinkbewegung zum Haupttag, einem Tag mit einem Temperaturanstieg von über 10° am Vormittag, 580 m gefunden.

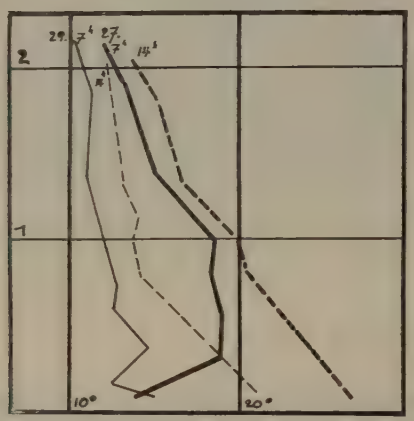
6. Der Temperaturanstieg am Boden.

Die durch die dynamische Erwärmung geschaffene, besonders in den Höhen warme Atmosphäre und die damit verbundene Abnahme des vertikalen Temperaturgradienten schaffen Bedingungen für einen schnellen Temperaturanstieg am Boden. Wir haben bereits im Kapitel 4 am Anfang festgestellt, daß dies durch Strahlung und durch Absinkbewegung bis zum Boden stattfinden kann.

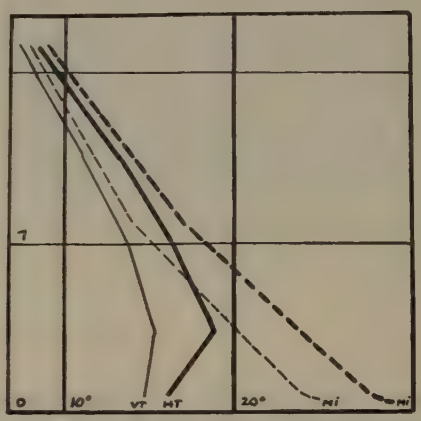
a) Strahlung.

Es soll nun zunächst an einem Beispiel gezeigt werden, wie Strahlung bei einer erwärmten Höhe schnell zu einer hohen Bodentemperatur führt. Wieso ein schwacher Temperaturgradient und Inversion

in den unteren Schichten zu einem schnellen Temperaturanstieg führt, ist bereits des öfteren erwähnt und hat auch Thomas in der genannten Arbeit ausführlich behandelt. Am 27. VIII. 1930 trat in Potsdam bei wolkenlosem Himmel nach einem Minimum von 12.5° ein Maximum von 30.5° auf, während 2 Tage später. am 29. VIII., bei ebenfalls wolkenlosem Himmel. also gleichen Strahlungsverhältnissen und einem ähnlichen Minimum von 11.7° nur ein Maximum von 22.9° auftrat. Der Wind weht allerdings am 29. um eine Stärke mehr, aber dadurch ist das um fast 8° tiefere Maximum nicht zu erklären. Die Ursache liegt allein in der Zustandskurve. Der Lindenberger Aufstieg zeigt am 27. Temperaturzunahme bis 1000 m hinauf und eine Inversion von 5°. In 2000 m ist es noch fast ebenso warm wie am Boden, während am 29. die Temperatur. wenn auch langsam, mit der Höhe abnimmt (Figur 30). Wie die Mittagsaufstiege



Figur 30. Morgen- und Mittagsaufstiege vom 27. und 29. VIII. 1930 in Lindenberg.



Figur 31. Mittlere Aufstiege vom 1. Vortag und Haupttag der 21 Fälle mit dynamischer Erwärmung und die wahrscheinlichen Mittagskurven.

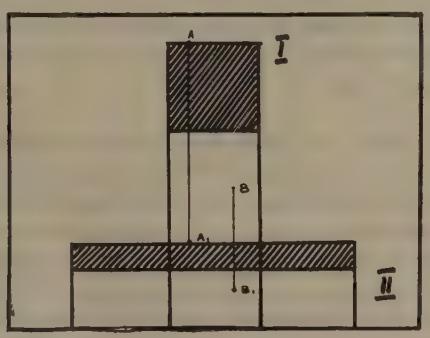
zeigen. ist in beiden Fällen Konvektion bis 800 m aufgetreten, was man an den adiabatischen Gradienten in dieser Schicht sieht. Die Erwärmung von 1 bis 2° in den Schichten darüber ist dynamisch zu erklären. Man sieht. wie am 27. der Temperaturanstieg am Boden 14°, am 29. nur 7° beträgt, trotz gleicher Anfangstemperatur und gleichen Strahlungsverhältnissen. Wir haben zwar in beiden Fällen einen gleich großen Raum. der durch die Konvektion geheizt worden ist, nämlich vom Boden bis 700 m Höhe. Nur hat dieser Raum am 29. schon vorher eine viel höhere Mitteltemperatur, so daß das Endergebnis auch eine höhere Bodentemperatur ist, da sich ja an Strahlungstagen mit Konvektion in den unteren Schichten immer der adiabatische Gradient einstellt. Wir können auch sagen, daß am 27. ein viel größerer Temperaturanstieg am Boden stattfinden konnte, ohne daß Labilität in den unteren Schichten eintritt als am 29. Wenn am 29. auch 27° geherrscht hätten, dann müßte ja Konvektion, das heißt also adiabatische Schichtung, bis 1500 m sich einstellen. So viel Heizung stand eben nicht zur Verfügung.

Die meisten Fälle hoher Temperaturen im Sommer, insbesondere mit dynamischer Erwärmung, sind nun so zu verstehen: Die dynamische Erwärmung schafft einen Zustand, der dem Aufstieg vom 27. VIII. 1930 ähnelt und wie er durch den mittleren Aufstieg vom Haupttag der Fälle mit dynamischer Erwärmung gegeben ist (Figur 31). Um die mittleren Maxima von 29° der behandelten Fälle zu verstehen, machen wir die Annahme, daß die Temperatur über dem 1000-m-Niveau noch gegen Mittag hin um etwa 1° weiter ansteigt. was auch viele Aufstiege zeigen. Nehmen wir außerdem in den alleruntersten Bodenschichten einen überadiabatischen Gradienten an, wie er auch vielfach vorkommt, so sind die beobachteten Bodentemperaturen zu verstehen. Wir sehen auf der Figur 31, daß die Konvektion demnach im Mittel bis 1200 m reicht. wenn wir mit Ausnahme der alleruntersten Schichten einen adiabatischen Gradienten bis 1200 m hinauf annehmen. Aber wie gesagt, sind sie nur mit der erwärmten Höhe zu verstehen; am Vor-

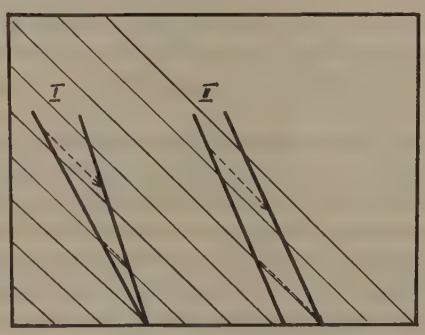
tag, wo doch die Strahlung sogar größer war als am Haupttag, und der Wind, also der dynamische Austausch, schwächer und die Bodentemperatur nur um 1° tiefer ist als am Haupttag, steigt das Maximum knapp auf 26°. Ein Blick auf die Figur macht das verständlich; wenn an diesem Tage auch ein Maximum von 29° hätte auftreten sollen, müßte Konvektion und adiabatische Schichtung bis 2 km hinauf auftreten; so viel Strahlungswärme steht aber nicht zur Verfügung.

b) Föhn aus der freien Atmosphäre.

In diesem Kapitel soll die zweite Art der Bodenerwärmung besprochen werden, nämlich die Erwärmung, die dann entsteht, wenn die Absinkbewegung bis zum Boden durchdringt. Dann muß bei einer Zustandskurve, wie sie durch die mittleren Aufstiege der Fälle mit dynamischer Erwärmung gegeben ist, nämlich einer Zustandskurve mit einer Inversion in den unteren 1000 m, am Boden eine starke Erwärmung einsetzen, ohne daß irgendwie Strahlungsvorgänge mitzuhelfen brauchen. Es soll nun zunächst etwas Allgemeines über derartige Vorgänge gesagt werden. Zuerst etwas Prinzipielles über Schrumpfen von Luftmassen. Man muß sich darüber klar sein, daß Schrumpfen allein nie zu einer Bodenerwärmung führt, sondern nur zu einer Erwärmung der Höhen; und zwar nimmt die Erwärmung mit der Höhe zu. Man versteht das ganz leicht aus einer Figur (Figur 32). Wenn sich der Luftkörper I in einen anderen II umwandelt, so sieht man, daß das Teilchen A nach A_1 sinkt und sich dabei diabatisch erwärmt. Ein Teilchen von B sinkt nach B_1 und erwärmt sich infolge der geringeren Sinkhöhe schwächer, und am Boden, wo keine Sinkbewegung eintritt, passiert gar nichts. Schematisch dargestellt ändert sich die Zustandskurve dabei fol-



Figur 32. Der Vorgang des Schrumpfens.



Figur 33. Änderung der Zustandskurve I einer „schrumpfenden", II einer „absinkenden" Luftmasse.

gendermaßen (Figur 33). War der Zustand vorher stabil, so wird er noch stabiler, aber am Boden bleibt die Temperatur die gleiche. Wie aber viele Aufstiege mit dynamischer Erwärmung zeigen, kommt neben diesem Schrumpfen auch eine andere Art von Absinkbewegung vor, nämlich gleichmäßig schnelles Absinken in allen Höhen. Das ist dann möglich, wenn die Luft am Boden schnell auseinanderfließt oder abgesogen wird. Dann ändert sich eine Zustandskurve so, wie es Figur 33 II zeigt. Es findet eine Parallelverschiebung statt. Wir trennen im folgenden diese beiden Arten von dynamischer Erwärmung und nennen die eine Schrumpfen, die andere Absinken. Die bearbeiteten 21 Fälle mit dynamischer Hochdruckerwärmung zeigen nun weder das eine noch das andere Bild, sondern eine Kombination beider. In den großen Höhen über 1500 m scheint einfache Absinkbewegung stattzufinden, in den untersten Schichten Schrumpfen. Die Grenze zwischen beiden scheint die Abgleitfläche des Hochs zu sein. Die Entstehung dieser Verhältnisse kann man sich vielleicht so veranschaulichen: In den Höhen findet zunächst einfaches Absinken statt mit „paralleler Erwärmung"; am Boden muß aber die Absinkbewegung sich verlangsamen, da in dem windschwachen antizyklonalen Gebiet kein heftiges Absaugen stattfindet. Darum haben wir

es am Boden mit Schrumpfungsvorgängen zu tun, wodurch sich eine Schrumpfungsinversion ausbildet, verstärkt durch die nächtliche Ausstrahlung. In dem dadurch entstehenden Kaltluftblock findet die stagnierende Luft noch mehr Bedingung zum Schrumpfen. Darüber, über der Inversion, über der Abgleitfläche, sinkt die Luft nun einfach ab und fließt hier stark auseinander, wobei sie sich in allen Höhen gleich stark erwärmt.

Die Abgleitfläche ist durch die Inversion in den mittleren Aufstiegen (Figur 29) gegeben; man kann sie in 500 bis 700 m ansetzen. Die Abgleitfläche ist aber auch gekennzeichnet durch ein Windmaximum, das von vornherein schon durch theoretische Überlegung plausibel ist. Die absinkende Luft muß ja über dem Kaltluftblock nach den Seiten abfließen. Das Windmaximum trat am Vortag von 27 Fällen zur 52 % ganz deutlich auf (Anstieg über 2 m/sek.), am Haupttag zu 48 %, und zwar in den mittleren Höhen von 590 bzw. 570 m. Manchmal ist das Maximum ganz intensiv ausgebildet, vereinzelt ist der Abfall nach oben und unten größer als 6 m/sek. Wir entwerfen nun nach alledem folgendes Bild von den mittleren Verhältnissen: Durch eine stabile Zustandskurve, wie sie am 2. Vortag etwa herrschte, entsteht durch Absinken in den oberen und durch Schrumpfen in den unteren Schichten eine Zustandskurve, wie sie etwa am Haupttag herrschte. Dadurch entsteht eine Inversion und ein Kaltluftblock, über dem die absinkende Luft abgleitet. Es gibt nun zwei Möglichkeiten, daß der warme, absinkende Höhenstrom direkt zu Boden gelangt, nun nicht mehr als schrumpfende, sondern als absinkende Luftmasse, nämlich erst einmal in der Abgleitzone des Hochs. Zweitens kann aber durch irgendwelche Vorgänge die absinkende Luft den Kaltluftblock durchstoßen, oder vielmehr scheint das Primäre das Absaugen der Kaltluft zu sein, wodurch der warmen Höhenströmung Platz gemacht wird. Was dann eintritt, ist Föhn aus freier Atmosphäre. In beiden Fällen tritt im Meeresniveau die potentielle Temperatur der absinkenden Luft auf. Daß solche Fälle vorkommen, ist ja bereits bekannt, und es sind in der Literatur darüber mehrere Notizen vorhanden (s. Lit.-Verz. 7 u. 8, S. 73 u. 19). Am 10. II. 1896 wird z. B. eine in Wien beobachtete hohe Maximaltemperatur bei tiefer relativer Feuchtigkeit erklärt durch absinkende Luft, die aus der Höhe aus einem Hoch durch ein kleines, vorübergehendes Tief herausgesaugt wird.

Bei den untersuchten Fällen sind einige ganz typische Fälle, wo derartige Vorgänge zweifellos vor sich gehen und die hohe Temperatur am Boden erzeugen. Von den ganzen 49 Fällen ließen sich 13 finden, bei denen Föhn aus der freien Atmosphäre gewiß eine Rolle spielt. Es ist zwar nicht immer leicht zu entscheiden, auch wenn man von einem solchen Tag eine Zustandskurve sieht, ob es Strahlung war, die die Inversion abbaute, oder ob die Inversion abgesunken ist. Bei den meisten Fällen werden sicher beide Faktoren zusammenwirken, und beide zusammen müssen natürlich am Boden eine höhere Temperatur erzeugen als einer allein. Es scheint aber bei diesen Fällen der Dampfdruck zum Mittag hin abzunehmen und die relative Feuchtigkeit einen abnorm tiefen Wert zu erreichen; das ist ja ganz einleuchtend. Denn die spezifische Feuchtigkeit nimmt ja mit der Höhe ab, wie die mittleren Aufstiege zeigen. Außerdem zeigen sich auf den Wetterkarten immer auffallend eng begrenzte, kleine, schmale Gebiete auffällig hoher Maxima im Zwischengebiet zwischen Hoch und Tief, meist auf der Vorderseite eines flachen Tiefausläufers, während im Hochdruckgebiet selbst viel tiefere Maxima auftreten. Nach all diesen Symptomen sind diese 13 Fälle ausgesucht. Es fallen auf die Monate II 1, IV 2, V 1, VI 1, VII 3, VIII 1, IX 1, X 2, XI 1 Fälle. Zunächst wurde gefunden, daß die Häufigkeit der Windrichtung folgende ist:

	1. Vortag	Haupttag
NE	5	3
SE	25	23
SW	40	56
NW	30	18

Der Dampfdruck am Haupttag zeigt folgende Werte:

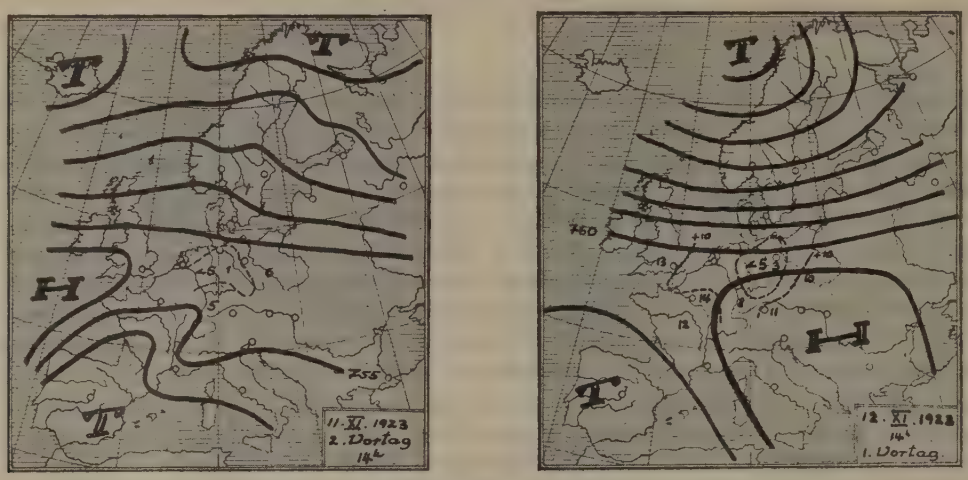
7 Uhr	14 Uhr	21 Uhr
10.2	9.1	9.9

Daß es sich wirklich um gewaltige Temperaturanstiege handelt, zeigt die mittlere Tagesschwankung: sie beträgt 15.3°. Das ist beträchtlich, wenn man bedenkt, daß auch viele Fälle auf den Herbst fallen.

Die synoptische Betrachtung ergab ein ziemlich einheitliches Bild: Bei 10 Fällen lag ein Hochdruckgebiet mit seinem Kern über dem östlichen Balkan, in den 3 restlichen Fällen lag es etwas nördlicher, etwa in Nordwestrußland. Auf dem Atlantik liegen ziemlich kräftige Tiefdruckgebiete, 5 über England, 2 über Island und 6 über Nordskandinavien. Bei 7 Fällen zeigt sich ein deutlicher flacher, gewittersackähnlicher Ausläufer. Bei 8 zeigt sich ein auffallend schmales, sehr warmes Gebiet, dessen Längachse den Isobaren parallel läuft. Eine idealisierte Wetterlage erübrigt sich zu zeichnen, da die Verhältnisse sehr dem Typus der osteuropäischen Antizyklonen (Figuren 25 u. 26) ähneln. Leider liegen die schönsten Fälle im Jahr 1923, von denen noch kein genügendes aerologisches Material vorliegt.

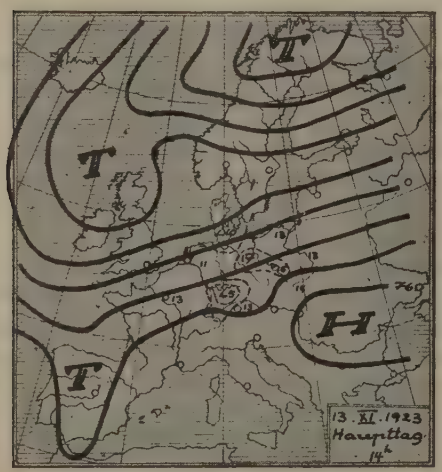
Sehr charakteristisch ist der 13. XI. 1923. Am 11. XI. herrscht in Mitteleuropa kaltes, nebliges Hochdruckwetter; die Maxima erreichen in einem großen Gebiet im mittleren Westen nicht einmal 5°. Nachts herrscht Frost. So auch am 12. XI., am Vortag. Nur ist das Hoch über Deutschland hinweg zum Balkan gewandert. Dabei ist eine ganz ungeheure dynamische Erwärmung eingetreten, wohl auch zum Teil advektiv. Daß sie aber größtenteils doch dynamisch ist, zeigt der Aufstieg von Friedrichshafen mitten im antizyklonalen Bereich bei Windstille ab 1500 m, der noch größere Erwärmung und Austrocknung zeigt. Von 500 bis 1000 m nimmt die Temperatur nach oben um 16° zu (in Lindenberg). Deutschland liegt nun am 12. noch vollkommen im Bereich der darunter liegenden Kaltluft bei nebeltrübem Wetter und schwachem SW-Wind. Nur die Berge ragen in die mächtige Inversion. Schneekoppe und Brocken haben Maxima von 7 bis 8° am 12., und der Hohenspeißenberg 14°. Die Schneekoppe hat nur 7 % relative Feuchtigkeit. Es wird nun angenommen, daß am 13. XI., am Haupttag, die Inversion in einem relativ kleinen Gebiet im mittleren Ostdeutschland bis zum Boden abgesunken ist. Diese Striche haben nämlich am 13. Maxima über 15° und Bewölkung 1 (Magdeburg, Berlin, Dresden, Breslau; außerdem München). Das übrige Deutschland hat Bewölkung 9 oder Nebel. Im Südwesten des Reiches ist gegen den Vortag überhaupt keine Änderung eingetreten. Hier liegt nach wie vor ein Gebiet mit Maxima unter 5°, während das genannte Absinkgebiet Maxima bis 17° hat (Figuren 34 bis 36). Um unseren Betrachtungen auf Seite 34 gerecht zu werden, können wir sagen, daß diese Gebiete in den absinkenden Luftstrom, der sonst normalerweise nur über der Abgleitfläche entwickelt ist, geraten sind und somit die potentielle Temperatur des absinkenden Luftkörpers erhalten haben, während die anderen Gebiete nur in der schrumpfenden und sich nur in der Höhe erwärmenden Kaltluftschicht verblieben sind. Der Grund dafür, daß gerade in dem kleinen, inselförmigen Gebiet im mittleren Ostdeutschland der absinkende Höhenstrom bis zum Boden gelangt, scheint darin zu liegen, daß in diesem Gebiet die Kaltluft abgesogen wird. Denn während am Morgen des 13. in Südwestdeutschland Windstillen herrschen, wehen nördlich der Mittelgebirge südliche bis südwestliche Winde, Stärke 4 bis 5, am Südrand der tiefen Nordkapzyklone. Wir haben also am Boden eine Geschwindigkeitsdivergenz, und da muß ja in dem Gebiet größter Divergenz Luft aus der Höhe als Kompensation absinken. Es soll nun an Hand der Aufstiege gezeigt werden, wie durch die am Boden abgesogene Kaltluft der warme, absinkende Höhenstrom immer tiefer hinabreicht, kurz, wie die Inversion absinkt (Figur 37). Am 10. sehen wir eine Inversion in 1100 m und darüber einen sehr schwachen Gradienten. Über der kalten Bodenluft setzt offenbar beim Vorüberzug des Hochs stark absinkende Bewegung ein; denn 2 Tage später, am 12. (der Aufstieg vom Zwischentag reicht leider nicht hoch) ist eine ganz ungeheure Erwärmung über der kalten Bodenschicht eingetreten, nämlich 15° in 1000 m. Wenn die Erwärmung rein dynamisch erfolgt ist, muß die Luftmasse an jedem der beiden Tage um 700 m abgesunken sein. Um 14 Uhr am 12. ist das Temperaturmaximum, das morgens noch in 1500 m

lag, um 200 bis 300 m weiter abgesunken; die Kaltluftschicht sinkt also in sich zusammen, wie auch die Zustandskurve in der Kaltluft deutlich das Bild von Schrumpfen zeigt, nämlich starke Erwärmung oben und schwache Erwärmung am Boden. Am Haupttag beginnt die Inversion bereits am Boden, und das

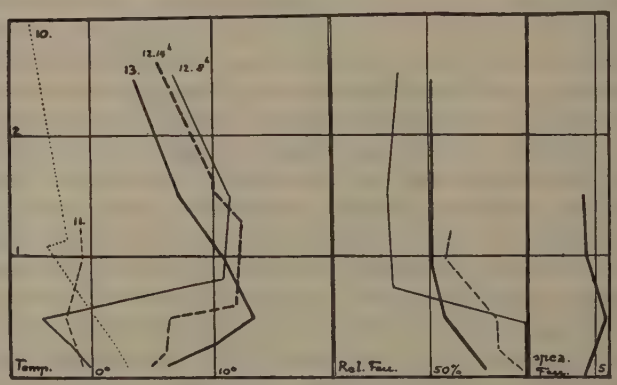


Figuren 34 und 35. Isobaren und Maxima; Föhn aus der freien Atmosphäre vom 13. XI. 1923.

Temperaturmaximum liegt mit 13° in 500 m Höhe. Der bisherige Vorgang am Boden war nur einfach Schrumpfen; die jetzt folgenden Vorgänge haben nichts mehr damit zu tun. Vielmehr ist anzunehmen, daß durch die auffrischenden Bodenwinde im mittleren Ostdeutschland die seichte Kaltluftschicht am Nord-



Figur 36. Föhn aus freier Atmosphäre in Brandenburg und Schlesien am 13. XI. 1923. - - - Maxima

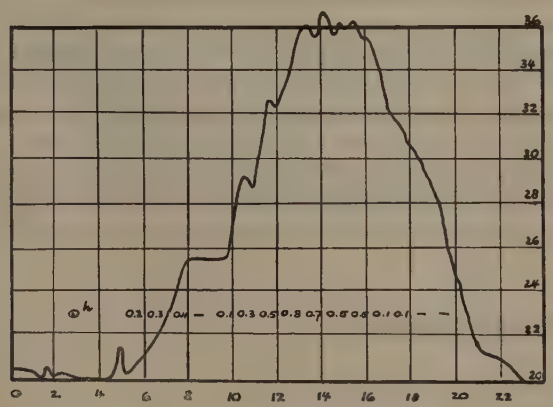


Figur 37. Das Absinken der Inversion in Lindenberg vom 10. bis 13. XI. 1923.

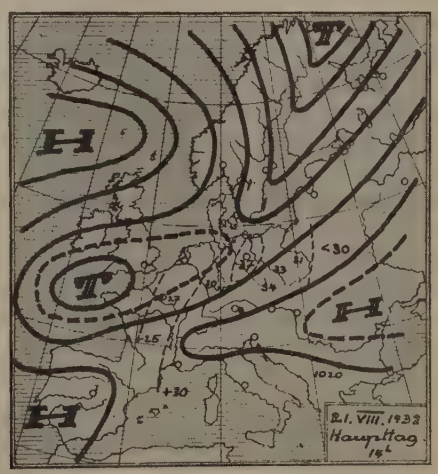
rand der Mittelgebirge abgesogen ist und daß die warme Höhenluft als absinkende und sich adiabatisch erwärmende Luft den Boden erreicht hat; dann kommt die aus 500 m absinkende Luft in 100 m mit 17° an. So hoch sind auch gerade die beobachteten Maxima, denn daß die im November sehr geringe Strahlungswärme einen Temperaturanstieg von 10° und mehr (in Arnsdorf beträgt er 18°, in Jena 15°) trotz der seichten Kaltluftschicht, die geheizt werden muß, erzeugt hat, ist sehr unwahrscheinlich. Der Dampfdruck nimmt mit Eintreffen der hohen Temperatur zu; das erscheint zunächst merkwürdig, ist aber ver-

ständlich, da die spezifische Feuchtigkeit am 13. mit der Höhe zunimmt (Figur 37); diese Tatsache bekräftigt also nur noch die Annahme der absinkenden Inversion.

Es soll im folgenden gezeigt werden, daß auch hochsommerliche Hitzegrade gerade durch solche Erscheinungen mit erklärt werden können. Interessant ist es, daß gerade die beiden höchsten Temperaturen, die in der bearbeiteten Potsdamer Beobachtungsreihe aufgetreten sind, nämlich 36.8° am 6. VII. 1922 und 37.2° am 21. VIII. 1932, gewiß durch Föhn aus der freien Atmosphäre mit zu erklären sind. Hier handelt es sich nun nicht um ruhiges Absinken von Inversionen, sondern es werden einfach durch die dynamische und thermische Konvektion, vielleicht auch etwas durch absteigende Luftbewegung, Luftmassen hoher potentieller Temperatur zum Boden verfrachtet. Bedingung dafür ist natürlich eine sehr hohe potentielle Temperatur in den 1000-m-Schichten, die in beiden Fällen herrschte. Am 6. VII. herrschten in 600 m bereits 34°, am 21. VIII. in 700 m ebensoviel, und in 1500 m sogar 37.5°. Die Luft brauchte also am 6. VII. nur aus 600 m abzusteigen und hätte dadurch am Boden allein schon 34° gebracht. Aus welcher Höhe die Luft abgesunken ist, kann man aber aus den aufgetretenen Maxima nicht schließen, da man nie weiß, wie die Strahlung auch mitgewirkt hat. Diese Fälle sind zweifellos solche, wo Strahlung und Föhn gemeinsam die Bodentemperatur so hochtreiben. Bei beiden Fällen ist die Bewölkung ziemlich groß, am 6. VII. im Mittel sogar 8, am 21. VIII. 4. Die Tagesschwankung beträgt am 6. VII. 16.5°, in Breslau aber 20°. So hoch kann die geringe Strahlung allein (in Potsdam scheint die Sonne bis zum Eintritt des Maximums nur 2.5 Stunden!) die Temperatur unmöglich treiben. Bei beiden Fällen nimmt die spezifische Feuchtigkeit nach oben hin ab. Die Tatsache, daß sie bei beiden Fällen zum Mittag hin ebenfalls abnimmt (am 6. VII. nimmt sie um 3.1 g ab) zeigt deutlich die Absinkbewegung. Um die föhnartigen Vorgänge vom 6. VII. 1922 noch deutlicher zu zeigen, sei die Registrierkurve der Temperatur von Potsdam ab-



Figur 38. Temperaturregistrierung und Sonnenscheindauer vom 6. VII. 1922 Potsdam.



Figur 39. Isobaren und Maxima vom 21. VIII. 1932.

gebildet (Figur 38). Man sieht, wie bereits nachts zweimal, so um 1.45 und 4.45, zweimal Luft aus der wärmeren Höhe durchgebrochen ist. Um 5 Uhr erfolgt dann mit leichter Einstrahlung ganz normaler Temperaturanstieg um 5° in 3 Stunden; mit Aussetzen der Strahlung bleibt die Temperatur konstant bis 9.45; jetzt aber erfolgt ein rascher Anstieg um 3.6° in 35 Minuten. Dieser Anstieg ist bei der geringen Sonnenscheindauer kaum durch Strahlung zu erklären und dürfte die erste mächtige Absinkbewegung bedeuten. Ähnlich ist es mit dem zweiten großen Anstieg von 28.5° auf 32.5° von 10.45 bis 11.25. Dagegen scheint jetzt der weitere Anstieg bis 36° um 13 Uhr in der Hauptsache durch Strahlung entstanden zu sein. Und jetzt tritt thermische Konvektion ein. Das ist auch nach der Zustandskurve verständlich. Danach müßte bei einer Bodentemperatur über 34° schon Labilität am Boden und damit Kon-

vektion auftreten. Jetzt kehren sich die Verhältnisse wohl um: die absinkende Luft bringt am Boden Abkühlung.

Die Wetterlage vom 21. VIII. 1932 zeigt Figur 39. Das kleine Gebiet mit Maxima über 35° wäre also demnach das Gebiet stärkster Absinkbewegung. Am Vortag, am 20. VIII., liegt es weiter westlich, genau zwischen dem Tief im Westen und dem Hoch im Osten. Man sieht auch, wie die Maxima nach beiden Seiten hin abnehmen und auch im Zentrum des Hochs über Polen unter 30° hinuntergehen. Hier ist also die dynamische Erwärmung der Höhen noch nicht so weit fortgeschritten, daß Bedingungen für eine hohe Bodentemperatur bestehen.

Schluß.

Zum Schluß sei eine kurze Übersicht über die Verteilung der Typen in den einzelnen Monaten gegeben. Es werden also nur 3 Haupttypen genannt: Winterlicher Advektionstypus, sommerlicher Advektionstypus und antizyklonaler Typus (dynamische Erwärmung). Strahlung und Föhn aus der freien Atmosphäre, die wir ja als sekundäre Ursachen kennengelernt haben, werden nicht jedesmal, sondern nur bei besonderen Fällen genannt.

In den verschiedenen Monaten sind in dem Zeitraum 1920 bis 1934 in Potsdam abnorm hohe Temperaturen auf folgende Art zustande gekommen: Im Dezember und Januar kommen nur advektive Wärmeeinbrüche vor (winterlicher Advektionstypus). Strahlungseffekte sind dabei vollkommen ausgeschaltet, und es liegt auch kein Fall vor, wo dynamische Hochdruckerwärmung mit Hilfe von Strahlung oder Föhn aus der freien Atmosphäre eine gewaltige Temperaturanomalie brachte. Im Februar gehören nur noch 3 von 4 Fällen dem winterlichen Advektionstypus an: bei zweien davon hilft aber schon Strahlung mit. Der andere ist ein Föhn- und Strahlungsfall bei dynamischer Hochdruckerwärmung. Im März ist nur noch 1 Fall von 5, ein Advektionsfall. Die anderen gehören dem antizyklonalen Typus an. Vom April gehören 3 Fälle dem sommerlichen Advektionstypus an: der 4. ist ein typischer Föhnfall bei dynamischer Erwärmung. Mai hat 2 Advektionsfälle mit Strahlung: 3 gehören dem antizyklonalen Typus an, und im Juni kommt nur dieser letztere vor. Im Juli liegt 1 Fall vor mit Advektion: die Haupterwärmung am Boden erfolgte aber durch Föhn aus der freien Atmosphäre. Die anderen Fälle sind antizyklonal, und im August und September haben wir nur diesen letzteren Typus. Im Oktober ist wieder 1 Tag mit abnorm hoher Temperatur durch Advektion verursacht, die andern 3 durch dynamische Erwärmung: einer davon ist ein typischer Föhnfall. November hat 2 winterliche Advektionsfälle: bei einem davon hilft aber Strahlung mit. Der restliche ist ein Föhnfall bei dynamischer Erwärmung.

Literaturverzeichnis.

1. Süring u. Kühl: Ergebnisse der meteorolog. Beob. in Potsdam 1920—1933.
2. Hellmann: Das Klima von Berlin. Veröff. d. Pr. Met. Instituts 1910.
3. Hann-Knoch: Handbuch der Klimatologie, 4. Aufl., 1932, Stuttgart.
4. Trabert: Der Zusammenhang zwischen den Temperaturverhältnissen der Atmosphäre und dem Druck an der Erdoberfläche. Wiener Sitz.-Ber. 1909.
5. Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1926.
6. Dinies: Die Steuerung von Wärmewellen. Met. Zeitschr. 1936. III.
7. Hann: Föhnartiger West aus einem Barometermaximum. Met. Zeitschr. 1896.
8. Hann: Warmer u. trockener Westwind aus einem Barometermaximum. Met. Zeitschr. 1889.
9. Thomas: Die Bedingungen für starken vormittägigen Temperaturanstieg im Sommer. Met. Zeitschr. 1934.
10. von Ficker: Tätigkeitsbericht des Pr. Meteorolog. Instituts 1930 (Niedrige Luftfeuchtigkeit auf der Schneekoppe u. dem Brocken).
11. König: Der heiße Sommer 1904.
12. Diesing: Der Wärmeeinbruch vom 12. bis 13. I. 1920 in Mitteleuropa (Leipzig 1924).
13. Wegener: Thermodynamik der Atmosphäre. Leipzig 1924.

Lebenslauf.

Am 24. Dezember 1914 wurde ich als Sohn des Stadtoberamtmannes Johannes Balcke und seiner Ehefrau Henriette, geb. Fricke, zu Hannover-Linden geboren. Ich wurde nach evangelisch-lutherischem Glauben getauft. Meine Schulbildung habe ich auf dem Kaiserin-Augusta-Viktoria-Gymnasium in Hannover-Linden erhalten und daselbst zu Ostern 1933 meine Reifeprüfung abgelegt. Darauf war ich zwei Semester an der Technischen Hochschule zu Hannover immatrikuliert und widmete mich hier dem Studium der Meteorologie, Physik und Mathematik. Ab Sommer-Semester 1934 setzte ich unter Hinzunahme der Ozeanographie und Philosophie diese Studien an der Universität Berlin bis zum Sommer-Semester 1936 fort.

Meine Lehrer waren die Professoren Bartels, Defant, von Ficker, Kähler, Knoch, König, Kuhn, Kohlschütter, Möller, Müller, Precht, Prange, Robitzsch, Seilkopf, von Sanden, Schmidt, Wehnelt und Wüst, denen ich allen meinen Dank ausspreche, in erster Linie Herrn Professor von Ficker, auf dessen Anregung diese Dissertation entstand.

Veröffentlichungen der Deutschen Seewarte.

Verlag bzw. Vertrieb L. Friederichsen, de Gruyter & Co. m. b. H., Hamburg 1.

Segelhandbuch für den Stillen Ozean. Hamburg 1897		36.—
Stiller Ozean. Ein Atlas von 31 Karten. Hamburg 1896		25.—
Atlas f. Temp., Salzgehalt u. Dichte der Nordsee und Ostsee. Hamburg 1927		15.—

Verlag bzw. Vertrieb E. S. Mittler & Sohn, Berlin.

Atlas der Gezeitenströme für das Gebiet der Nordsee, des Kanals und der Britischen Gewässer. Berlin 1936. Neubearbeitung		6.—
Jahresbericht der Deutschen Seewarte. Jahrgang 16—61. 1893—1935	Je Heft	0.50
Beiträge zur Küstenkunde. Nr. 1—7. Berlin 1910—16	Je Nr. geh.	2.—
Gezeitentafeln für das Jahr 1937. Band I: Europäische Gewässer		4.—
Band II: Außereuropäische Gewässer		5.—
Tabellarische Reiseberichte nach den meteorologischen Schiffstagebüchern. Band I—VIII. (1903—1910)	Je Band	3.—
Annalen der Hydrographie u. maritimen Meteorologie. (Seit 1873.)	Jährlich	7.20
Sach- und Namen-Register der Jahrgänge 1889—1902, 1903—1920 d. „Ann. d. Hydr. usw."	je 1.	

Verlag bzw. Vertrieb Eckardt & Messtorff, Hamburg 11.

Monatskarte für den Nordatlantischen Ozean	Je Karte	3.—
Monatskarte für den Südatlantischen Ozean. 15 Blatt. 1928		12.50
Der Pilote, neue Folge, Heft 1 bis 10 (1923—1924)	Je Heft	—.50
Dampferhandbuch für den Atlantischen Ozean. 1928		7.50
Chronometer-Tagebuch für ein Chronometer		1.50
Monatskarte für den Indischen Ozean. 2. Auflage. 12 Monate und Distanzkarte		15.—
Monatskarte der Nord- und Ostsee. 12 Karten		15.—
Dampferhandbuch für den Indischen Ozean 1937		8.—
Dampferhandbuch für den Stillen Ozean. 1922		6.—
Dampferhandbuch für die Ostsee. 1931		5.—
Der Seewart. (Seit 1932)	Je Heft	—.75

Seedienst-Verlag, Hamburg 1.

Der Pilote, Neue Folge, Heft 11 bis 43 (1925—1931)	Je Heft	—.50

Verlag Julius Springer, Berlin.

Beobachtungen aus dem Bereich der Deutschen Seewarte (seit Beob'Jahr 1934): Wetterkundliche Beobachtungen auf deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee, und Zur Statistik der Stürme an der deutschen Küste. Erscheint als Teil IV, Heft 4 des Deutschen Meteorologischen Jahrbuchs, hrsg. vom Reichsamt für Wetterdienst.

Vertrieb Buchhandlung Martin Riegel, Hamburg 13, Grindelberg 79.

Segelhandbuch für den Atlantischen Ozean. 3. Aufl. Hamburg 1910		20.—
Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte. 1.—56. Band. 4°. Hamburg 1878—1936. (Zum Teil vergriffen.) Preis bis Band 46 je 10.— RM. Vom 47. Band ab Bandpreis gleich Summe der Einzelheftpreise.		
Resultate meteorologischer Beobachtungen von deutschen und holländischen Schiffen für Eingradfelder des Nordatlantischen Ozeans. 20 Bände. 4°. Hamburg 1880—1921	Je Band	6.—
Atlas der Meeresströmungen in dem Indischen Ozean. Hamburg 1913		15.—
Deutsches Meteorologisches Jahrbuch. Beobacht. der D. Seewarte. Beob'Jahrg. 1887—1933. 4°. (Für 1932 und 1933 auch Beihefte)	Je Jahrgang	8.—
Ergebnise der meteorologischen Beobachtungen im System der Deutschen Seewarte für die Lustren 1876—80, 1881—85, 1886—90, 1891—95, 1896—1900, 1901—1905, 1906—1910, für die Dezennien 1876—85, 1886—95, 1896—1905 und für die 25 Jahre 1876—1900	je 2.—	
Katalog der Bibliothek der Deutschen Seewarte. 8°. Hamburg 1890		10.—
Jeder Nachtrag		3.—
Deutsche überseeische meteorologische Beobachtungen. Heft 1—23. 4°. Hamburg 1887—1922.	Je Heft	5.—
Statistik der Stürme an der deutschen Küste. Beob'jahr 1933		2.50

Von der Deutschen Seewarte, Hamburg 3, unmittelbar zu beziehen.

(Tägl.) Eisbericht m. Eisübersichtskarte, hrsgg. v. d. D. Seewarte. Preis f. d. Winterhalbjahr		20.—
Meereskundliche Beobachtungen auf deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee. (Auch „Ergänzungshefte".) Seit 1924	Je Jahrgang 2.50 bis	5.—
Tägliche synoptische Wetterkarten für den Nordatlantischen Ozean usw. 2.—30. Jahrgang. Preis für den Jahrgang 40 dänische Kronen. Hierzu:		
Vierteljahrs-Wetter-Rundschau 1883—1894, Band I—X, sonst unverkäuflich.		
Kurze Anweisungen für Segelschiffe auf Zwischenreisen im Stillen Ozean. Hamburg 1913		1.—
Untersuchungen über Sichtweite und Helligkeit der Schiffspositionslaternen, mit besonderer Rücksicht auf die richtige Färbung der Gläser. Hamburg 1894		3.—

Weltkarten der erdmagnetischen Elemente, hrsgg. v. d. Marineleitung. Vertrieb durch D. Reimer, Berlin		1.—
Linien gleicher magnetischer Inklination für 1920		1.—
Linien gleicher magnetischer Horizontal-Intensität für 1920		1.—
Linien gleicher Mißweisung für 1931, O- u. W.-Blatt	Je Blatt	4.75
Täglicher Wetterbericht, hrsgg. von der Deutschen Seewarte. Nur Postbezug	Monatlich	5.—
(Tägl.) Wetterkarte des Reichswetterdienstes. Ausgabe Hamburg. Nur Postbezug	Monatlich	1.25
Nautisches Jahrbuch für das Jahr 1938. Carl Heymanns Verlag, Berlin W 8		2.—